Otto Köstlin

# ANNALES

DES

# SCIENCES NATURELLES

*QUATRIÈME SÉRIE*

---

# ZOOLOGIE

---

PARIS — Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.

# ANNALES

DES

# SCIENCES NATURELLES

COMPRENANT

LA ZOOLOGIE, LA BOTANIQUE

L'ANATOMIE ET LA PHYSIOLOGIE COMPARÉE DES DEUX RÈGNES

ET L'HISTOIRE DES CORPS ORGANISÉS FOSSILES

RÉDIGÉES

POUR LA ZOOLOGIE

PAR M. MILNE EDWARDS

POUR LA BOTANIQUE

PAR MM. AD. BRONGNIART ET J. DECAISNE

—

*QUATRIÈME SÉRIE*

## ZOOLOGIE

TOME VIII



PARIS

LIBRAIRIE DE VICTOR MASSON

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

1857

# ANNALES

DES

# SCIENCES NATURELLES

## PARTIE ZOOLOGIQUE

---

## FRAGMENTS D'ANATOMIE ENTOMOLOGIQUE,

**Par M. Léon DUFOUR.**

Dans mes vieux ans, je vois, avec une satisfaction mêlée de quelque amour-propre, que l'anatomie des insectes est en grande voie de progrès, et que l'on a sagement compris ce complément de la science entomologique. Encore quelque demi-siècle dans cette direction, et l'on pourra, remaniant les matériaux accumulés par le scalpel, établir des règles ou des lois sur ces petits mais curieux organismes, qui défient, en diversités viscérales et en merveilles physiologiques, les classes des animaux supérieurs. La nature, dans un but de savante pondération, a su compenser ses grandes productions par le nombre des petites, et j'ai déjà dit ailleurs que si l'on mettait dans un des plateaux de la balance les Vertébrés et dans l'autre les Invertébrés, ceux-ci l'emporteraient.

Malgré une organisation qu'on s'accorde à taxer de privilégiée, je ne me fais point illusion sur le terme plus ou moins prochain d'une vie qui compte soixante-dix-huit hivers. Je me décide donc à rassembler et à mettre au jour les bribes entomologiques répandues dans des dossiers dont quelques-uns sont semi-séculaires. Dans l'imminence du naufrage, il faut s'empresser de placer son plus précieux trésor dans le canot de sauvetage. A d'autres le soin de recueillir, de rajuster, de compléter ces lambeaux scientifiques.

Après ces lignes échappées à une improvisation qu'excuse ma passion entomologique invétérée, j'entre en matière.

## I.

## SUR L'APPAREIL DIGESTIF ET LES OVAIRES DU *NEMOPTERA LUSITANICA*.

En juillet 1854, je me livrai à Madrid à l'anatomie de ce frêle et élégant Névroptère, qui, à cette époque de l'année, abonde dans les parcs royaux du *Pardo* et de *Casa de Campo*, aux environs de cette capitale.

Malgré les nombreux individus sacrifiés au scalpel, le hasard a voulu que je n'aie rencontré que des femelles tantôt plus, tantôt moins avancées dans la gestation. Ainsi que dans les insectes en général, les mâles éclosent avant les femelles, et meurent peu de temps après avoir rempli leur mission propagatrice, tandis que les femelles, dépositaires des produits de la fécondation et chargées des soins de la progéniture, doivent, de toute nécessité, avoir une existence bien plus prolongée. Il était sans doute trop tard quand je me pris à chasser les Némoptères, dans l'intention de soumettre les deux sexes à la dissection ; de là une grande lacune pour compléter cette anatomie. J'avais donc indéfiniment ajourné ma publication, lorsque de nouvelles réflexions m'ont décidé à ne point laisser inédites mes recherches, en attendant que d'autres trouvent l'occasion de combler cette lacune.

Nous savons bien peu de choses sur les habitudes et le genre de vie des Némoptères. Je crois que ces insectes sont sinon nocturnes, du moins crépusculaires ou lucifuges. Dans le jour, surtout quand le soleil est vif et ardent, on ne les aperçoit qu'en les dépistant des broussailles ou des herbes touffues où ils s'abritent, et leur vol est de courte portée, de manière qu'on les prend facilement au filet.

C'est donc au scalpel à nous révéler, par l'étude de la composition de la forme et de la structure des organes, quelques actes de la vie de cet animal.

Et d'abord je n'ai pas été peu surpris de n'apercevoir dans ce Névroptère que des trachées tubulaires ou élastiques, et encore assez rares. J'ai bien trouvé, dans le thorax seulement, quelques trachées plus larges, gonflées, comme utriculaires, mais loin d'être membraneuses et d'un blanc mat, comme celles qui caractérisent les ballons ou bulles aérostatiques ; elles avaient le luisant nacré, et appartenaient évidemment par leur texture à l'ordre des trachées élastiques ou à filet spirale. Ces conditions relatives à la rareté et à la nature de celles-ci nous expliquent la brièveté et la lenteur du vol des Némoptères.

Dans un travail présenté à l'Académie des sciences en 1855, et inséré dans les *Annales des sciences naturelles* (1), j'ai fait connaître le fait négatif fort extraordinaire, fort insolite, de l'absence d'un système nerveux *appréciable* dans le Némoptère. Depuis cette publication et dans la même année, afin d'abriter ma conscience contre toute idée de remords, j'eus recours à l'acuité de la vue et à l'habileté des études microscopiques de mon ami le docteur Laboulbène, qui, dans une visite qu'il me fit à Saint-Sever, disséqua en ma présence deux individus du Némoptère que je conservais encore dans l'alcool, et qui dataient tout au plus d'un an. Non-seulement il ne parvint point à saisir un ganglion ou un tronc nerveux, mais il soumit à ma plus forte lentille microscopique, dans l'eau d'un verre de montre, les lambeaux des divers tissus disséqués, sans pouvoir y découvrir le moindre vestige d'un filet nerveux. M. Laboulbène me quitta avec la conviction que l'appareil sensitif du Némpotère était insaisissable, et il a formulé cette négation dans une note insérée dans les *Annales de la Société entomologique*.

### A. Appareil digestif.

Les investigations les plus attentives et les plus scrupuleuses pour découvrir dans le Némoptère des *glandes salivaires* n'ont eu qu'un résultat négatif. Cependant j'ai positivement constaté l'existence de ces glandes dans plusieurs Névroptères qui avoisinent ce

(1) 4e série, t. IV.

genre dans le cadre classique, comme le *Myrméléon*, l'*Hémérobe*, l'*Osmyle*.

Le *canal alimentaire* est, comme celui de la plupart des Névroptères, droit, et seulement de la longueur du corps de l'insecte. Sa texture est éminemment délicate, et on la dirait purement membraneuse.

L'*œsophage*, plus fin qu'un cheveu, est très difficile à isoler. Il se dilate aussitôt en un *jabot* oblong qui renferme une pulpe brune, et celle-ci s'observe pareillement dans l'œsophage. Un peu avant la contracture qui sépare le jabot du ventricule chylifique, il existe une bourse latérale oblongue, de configuration variable suivant son degré de plénitude. C'est là une véritable *panse* qui existe aussi dans les genres cités plus haut.

Mais on n'y rencontre aucun vestige de *gésier*, quoique ce dernier soit bien visible dans les trois genres que je viens de nommer. L'absence de cet organe distingue anatomiquement le Némoptère de ces derniers; elle indique en même temps, ainsi que la nature des *contenta* où le microscope ne reconnaît aucune molécule solide, que notre Névroptère doit se nourrir d'un aliment liquide. Le Névroptère chasse vraisemblablement ou le soir, ou la nuit, les Moucherons tendres, les petites Tipulaires qu'il triture, qu'il broye pour en avaler les sucs, à peu près comme le font les Araignées.

Le *ventricule chylifique*, plus particulièrement enfermé dans la cavité abdominale, est gros proportionnellement au reste du canal digestif, cylindrique, lisse à l'extérieur, où une bonne loupe aperçoit des traits superficiels ou d'imperceptibles plis, sans doute produits par des rubans musculeux annulaires. Ce ventricule renferme un liquide jaune et non brun, qu'il faut attribuer à la présence de la bile. Cet organe m'a plusieurs fois présenté en arrière une contraction, suivie d'une dilatation dont l'ampleur est variable. Celle-ci n'est qu'accidentelle, et dépend de quelque condition digestive difficile à préciser.

L'*intestin* suit comme d'ordinaire la *valvule ventriculo-intestinale*. Je ne lui ai pas trouvé de distinction en *grêle* et en *gros*, ainsi que cela se voit dans le plus grand nombre des insectes. Il

est droit, filiforme, plus ou moins rempli d'une pulpe excrémentitielle d'un brun chocolat. Dans quelques circonstances, j'ai trouvé à son origine une dilatation, que je considère aussi comme accidentelle.

Les *vaisseaux hépatiques* sont, ainsi que dans l'*Osmyle*, le *Myrmiléon* et l'*Hémérobe*, au nombre de huit bien comptés, libres, flottants par un bout, implantés par l'autre au bourrelet terminal du ventricule chylifique, quatre en dessus et quatre en dessous. Leur grosseur les rend faciles à mettre en évidence. Je les ai toujours trouvés incolores ou diaphanes, ce qui tenait sans doute à l'absence complète de la bile.

### B. Des ovaires.

Chaque faisceau ovarien du Némoptère consiste en un sac central oblong, à parois fines, diaphanes, submembraneuses, à la périphérie duquel s'implantent d'une manière assez lâche une dizaine de gaînes ovigères courtes et pluriloculaires. Je n'ai jamais vu à ces gaînes qu'un seul œuf à terme, mais fort gros, subglobuleux et blanc. La gaîne au-dessus de cet œuf offre un court chapelet de locules rondes, et se termine en avant par un filet presque invisible, et la convergence de ces filets aboutit à un ligament suspenseur commun, fixé dans l'intérieur du thorax comme d'ordinaire. Les œufs à terme tombent donc libres dans le sac central où je les ai souvent trouvés, et attendent ainsi l'occasion d'être successivement pondus, je ne sais quand, je ne sais où.

Le Némoptère a le même nombre de gaînes ovigères que l'*Osmyle ;* mais les gaînes de ce dernier sont libres dans le faisceau allongé qu'elles forment, et aboutissent en arrière à un calice court. Ainsi il n'existe pas un sac central comme dans le Némoptère.

Je le déclare avec sincérité, je n'ai pu voir que fort incomplétement les parties, qui, de la base de l'ovaire, se portent à l'orifice extérieur de la génération. Ainsi je n'ai vu ni l'oviducte, ni la poche copulatrice, ni la vulve avec ses accessoires. Je lègue ce complément, ainsi que tout l'appareil génital mâle, à un scalpel

plus heureux que le mien. Je signalerai seulement l'existence au col de chaque ovaire d'une petite bourse oblongue, dont je ne connais point les attributions.

Après un séjour dans l'alcool, pendant trois semaines, de quelques Némoptères que j'avais apportés de Madrid à Saint-Sever pour continuer mes dissections, je retirai du sac ovarien des œufs assez développés, pour m'autoriser à penser qu'ils devaient être à la veille de la ponte lorsque j'asphyxiai ces femelles. Une bonne loupe me permit d'observer à ces œufs une réticulation formée par de petites aréoles arrondies; je remarquais en même temps que ces œufs, que je croyais simplement subglobuleux, étaient aplatis en dessous ou tronqués, suivant leur plus grand diamètre.

Ces deux traits, la réticulation et la troncature, sont-ils l'effet de cette courte macération dans l'alcool? Je ne le crois pas.

Obs. Par ses appareils de la respiration, de la digestion et de la génération, le Némoptère serait bien mieux placé près de l'*Osmyle* et de l'*Hémérobe* que de la *Panorpe*, où Latreille, trompé par le prolongement de la tête, l'avait colloqué.

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE 1.

(Toutes ces figures sont considérablement grossies.)

Fig. 1. Appareil digestif du *Nemoptera lusitanica*. — *a*, portion occipitale et yeux; *b*, œsophage renflé en jabot; *c*, panse latérale; *d*, ventricule chylifique; *e e e e*, les huit vaisseaux hépatiques; *f*, intestin; *g*, dernier segment dorsal de l'abdomen.

Fig. 2. Portion postérieure du ventricule chylifique. — *a*, étranglement observé dans quelques individus; *b*, intestin parfois renflé à son origine.

Fig. 3. Portion de l'appareil génital femelle. — *a*, un ovaire avec ses gaînes ovigères; *b*, ovaire presque dépouillé de ses gaînes ovigères pour mettre en évidence le sac ovarique central; *c*, ligament suspenseur des ovaires; *d d*, petite bourse oblongue.

Fig. 4. Un œuf à terme, vu par sa région dorsale pour mettre en évidence sa réticulation.

Fig. 5. Autre œuf placé de manière à faire voir sa troncature.

## II.

## SUR LE SYSTÈME NERVEUX DU *BRACHYDERES LUSITANICUS*.

Dans mon anatomie des Coléoptères, qui commence à être de vieille date, 1824, je n'avais qu'effleuré la question du système nerveux dans cet ordre d'insectes. Depuis lors, des travaux ont été publiés sur ce même sujet par Audouin, Newport, Burmeister, Joly et par moi-même. Mais M. Émile Blanchard a surtout enrichi la science d'un mémoire spécial sur le système nerveux des Coléoptères (*Ann. sc. nat.*, 3e sér., t. V, p. 273; 1848).

Le *Brachyderes lusitanicus* est un Charansonite brévirostre qui abonde, dans notre sud-ouest, sur les sommités du *Pin maritime* et sur le *Chêne Tauzin*. Son appareil sensitif m'a présenté quelques traits exceptionnels pour le moment, et qui méritent d'être connus. Un de ces traits est l'absence de ganglions dans la cavité abdominale, et leur présence presque exclusive dans le thorax. Mais ce n'est pas là tout ce que les ganglions de ce Charansonite offrent d'original; leur nombre, leur configuration, leur siége, leurs attributions physiologiques, ont aussi des particularités inaperçues jusqu'à ce jour.

Examinons séparément le *cerveau* et les *ganglions*.

### Art. Ier. *Du cerveau.*

Je me suis déjà formellement expliqué dans divers écrits sur la préférence à accorder à cette dénomination de *cerveau* sur celles de *ganglions cérébroïdes*, de *ganglions sus-œsophagiens*, données par beaucoup d'auteurs. Dans l'insecte comme dans les autres animaux, le cerveau est la source des nerfs sensoriaux, le centre des sensations, le réflecteur des volontés. Il y aurait injustice et violation flagrante du principe de la conformité organique à dénier le nom de *cerveau* aux animaux articulés.

Quand on ouvre le crâne du *Brachyderes* à sa partie supérieure ou syncipitale, de manière à enlever avec circonspection les frag-

ments tégumentaires de cette région, sans déranger les parties contenues, on aperçoit un tissu blanc, lisse, pulpeux, occupant tout l'espace compris entre les deux yeux; c'est là une partie du *cerveau* proprement dit. Si vous affranchissez complétement celui-ci de sa boîte crânienne, en comprenant dans cette exfoliation les cornées oculaires, cet organe, obéissant à son expansibilité texturale, revêt une forme, un volume, et une apparente composition fort dissemblables à ce qui existait dans sa situation normale, attendu que, dans ce dernier cas, toutes les parties sont très rapprochées, pour pouvoir être contenues dans une si petite enceinte. Il n'est pas besoin de dire que ces changements de configuration et de volume ne sont propres ni au *Brachyderes*, ni aux autres insectes; ils s'observent dans la dissection de beaucoup de grands animaux sans en exclure même l'Homme. Les microtomistes n'ont pas en général tenu compte de ces remarquables différences de configuration avant et après la dissection. Il sera donc essentiel que le lecteur, pour une juste appréciation physiologique et iconographique du cerveau de notre *Brachyderes*, reporte son esprit vers cette situation normale dont je viens de parler.

Le cerveau, aussitôt après sa complète énucléation du crâne, est bilobé. Ces lobes dans l'animal vivant doivent être hémisphériques; mais par l'effet de l'expansibilité cadavérique, en se déjetant chacun de son côté, ils deviennent divergents, s'étalent horizontalement, ainsi que le représente la figure que j'en donne, et paraissent ventrus. Chaque lobe aboutit au *globe oculaire* qui lui correspond; celui-ci est hérissé d'une multitude infinie d'*optiques ocellaires*, se rendant au réseau des yeux composés de l'insecte. Mais ces lobes cérébraux ne viennent pas simplement fondre leur substance avec celle des globes oculaires. Avant de pénétrer dans ceux-ci, j'ai parfaitement constaté que la substance médullaire se divise en trois, ou parfois quatre nerfs, à peine distincts, parce que tout aussitôt ils pénètrent dans la masse pulpeuse, d'où naissent les optiques ocellaires.

De l'entre-deux antérieur des lobes cérébraux partent les deux *nerfs antennaires;* ceux-ci ne naissent pas précisément du bord de cette traverse médullaire, mais de son disque supérieur. Au

contraire, la paire des *nerfs buccaux*, bien plus petite, prend son origine au-dessous de ce bord.

C'est entre ces deux paires de nerfs et dans la ligne médiane que passe l'œsophage.

### Art. II. *Des ganglions et des nerfs qui en naissent.*

Je redis encore que les ganglions du *Brachyderes* sont enfermés dans le thorax, et qu'il n'y en a aucun dans l'abdomen (1).

Du bord postérieur du cerveau naissent les deux *cordons rachidiens*, qui tout aussitôt embrassent l'œsophage pour constituer le *collier œsophagien*. Chacun de ces cordons présente à son origine comme un petit bulbe se dérobant facilement à l'œil, et dépendant de la substance du cerveau.

On compte dans le thorax cinq ganglions, dont le troisième, plus grand que les autres, résulte de la soudure de deux de ces centres nerveux. Il n'est pas toujours facile de régler les attributions de ces ganglions.

Dans le plus grand nombre des insectes, il existe trois ganglions dans le thorax, et chacun d'eux fournit une paire de nerfs cruraux aux pattes correspondantes ; de là les dénominations significatives de ganglions *prothoracique*, *mésothoracique* et *métathoracique*. Cette technologie subit dans le *Brachyderes* des modifications qui renversent la règle.

Le premier ganglion occupe réellement le prothorax, peut-être un peu plus rapproché que d'ordinaire de la tête. Mais il ne saurait mériter légitimement l'épithète de *prothoracique*, comme on va le voir. Il est assez grand, arrondi, lenticulaire, bien dessiné ; mais positivement il ne fournit point des nerfs cruraux à la première paire de pattes qui s'articule au prothorax. Ce fait négatif m'a tourmenté longtemps, et me tourmente même encore.

(1) M. Blanchard (*l. c.*), qui a étudié le système nerveux dans un grand nombre de Charansonites, leur attribue *des ganglions abdominaux formant une seule masse allongée ou piriforme*, etc. Le fait négatif du *Brachyderes* sur ce point semble contredire l'assertion de M. Blanchard. Nous verrons plus tard que ces deux opinions pourraient se concilier.

Je sais bien que ce ganglion existe dans beaucoup de Coléoptères ; je sais aussi que c'est là le ganglion que M. Blanchard désigne sous le nom de *frontal ;* mais ce n'est certainement pas le *ganglion frontal* de Lyonet. Rien à mes yeux ne justifie cette dernière dénomination. Et quoique M. Blanchard, peut-être vaguement inspiré par Lyonet, dise : *Le ganglion frontal est toujours placé en avant du cerveau*, il est très positif que c'est tout le contraire dans le *Brachyderes* où ce ganglion est situé en arrière du cerveau, puisqu'il occupe le prothorax, et qu'il a pour connectif avec l'encéphale le double cordon rachidien qui forme le collier œsophagien. Mais ce qui a lieu de m'étonner, c'est que M. Blanchard, dans son explication des figures, donne le nom de *frontal* au ganglion tout à fait identique par sa situation avec celui *tout rachidien* du *Brachyderes* dont je viens de parler, et qu'il se trouve ainsi en contradiction avec le signalement qu'il lui assigne. Cet auteur a donc commis ou une flagrante erreur de synonymie, ou une bien malheureuse inadvertance.

J'ai longtemps cru que ce premier ganglion n'émettait aucun nerf, et ce n'est qu'à la quinzième autopsie que ma loupe, obstinément scrupuleuse, parvint dans une heureuse préparation à lui découvrir de chaque côté un nerf, mais un nerf nullement en rapport de grosseur avec les nerfs cruraux. Ce nerf a une finesse plus que capillaire, et, au lieu de se porter transversalement vers l'origine des pattes antérieures, il est récurrent, et s'avance vers les muscles nombreux qui attachent et emboîtent la tête dans le prothorax.

Je suis loin d'être fixé et sur le nom technique à donner à ce ganglion qui s'observe dans beaucoup de Coléoptères, et sur la synonymie à lui attribuer. Je le répète, il est incontestablement rachidien, et il forme le premier nœud de la chaîne ; on ne saurait par conséquent le rapporter ni au ganglion *frontal* de Lyonet, ni au ganglion *stomato-gastrique* de Brandt et d'Audouin.

Le deuxième ganglion thoracique du *Brachyderes* siége dans le mésothorax ; il a une forme insolite, tout à fait nouvelle pour moi ; il est profondément bilobé. Libérés de leur captivité tégumentaire, ses lobes, normalement rapprochés et contigus dans l'être vivant,

prennent leur essor, s'étalent à l'instar du cerveau, deviennent distincts et distants l'un de l'autre, et s'atténuent à leur extrémité pour former un nerf crural. Mais, remarquez-le bien, ce nerf crural n'est point destiné à la seconde paire de pattes articulée au mésothorax ; la bizarrerie se poursuit. Ce nerf, au lieu de se diriger transversalement, se dévie, s'incline en avant, devient insensiblement récurrent, pénètre dans le prothorax, et va se distribuer à la première paire de pattes.

Ainsi ce deuxième ganglion est mésothoracique pour son siége et prothoracique pour sa paire de nerfs, qui va distribuer la sensibilité et le mouvement aux pattes antérieures. La découverte de cette distinction anatomique et physiologique devint pour mon esprit une sorte de baume, au moins pour me confirmer et m'expliquer l'absence des nerfs cruraux dans le premier ganglion.

Le troisième ganglion thoracique a aussi son originalité. Plus grand que les autres et brièvement ovalaire ou elliptique, il est évidemment formé par la soudure de deux ganglions séparés en deux parts égales par une fine rainure transversale et droite, aboutissant de chaque côté à une échancrure petite, mais bien visible, qui établit encore la démarcation latérale des deux moitiés.

Ce double ganglion m'a paru siéger dans le métathorax; mais comme dans de semblables dissections, il est fort difficile de ne point violer les rapports respectifs des organes et des tissus qui les avoisinent; comme d'ailleurs deux autres ganglions ont aussi leur siége dans le métathorax, il est possible, il est même probable que, dans l'état normal, ce double ganglion soit limitrophe, c'est-à-dire en partie dans le mésothorax et en partie dans le métathorax. La rainure transversale, indice positif de la soudure, se trouverait sur la frontière de ces deux départements du thorax.

Quoi qu'il en puisse être, la moitié antérieure de ce ganglion émet deux paires latérales de nerfs de fort calibre : l'une postérieure est la crurale destinée aux secondes pattes; l'autre antérieure, et de même force, a une destination qui m'est, je l'avoue, inconnue. La moitié postérieure de ce même ganglion soudé ne fournit qu'une seule paire de nerfs du calibre des précédents : ce sont les cruraux des troisièmes pattes.

En résumé, en mettant à l'écart le premier ganglion qui ne fournit point de nerfs cruraux, et en dédoublant le ganglion soudé, nous retrouvons dans le thorax du *Brachyderes*, comme dans celui de beaucoup d'insectes, le nombre normal de trois ganglions émettant trois paires de nerfs cruraux pour autant de paires de pattes. Mais le cachet de l'originalité n'en subsiste pas moins et dans leur siége insolite, et dans leur configuration spéciale; de plus, il reste encore une paire de nerfs à parti prendre... *Judicent peritiores!*

J'ai dit plus haut implicitement que le métathorax renfermait, indépendamment du ganglion soudé et à nerfs cruraux, deux autres ganglions. C'est de ceux-ci que j'ai à parler.

Le premier de ces ganglions est fort petit, arrondi, comme rudimentaire, et sans le moindre nerf qui y prenne son origine. Ce serait comme un *nodule* rachidien; mais il a évidemment les connectifs ordinaires avec le ganglion qui le précède et le ganglion qui le suit.

Le deuxième est assez grand, ellipsoïdal ou en navette, fort rapproché du précédent. Il fournit une paire latérale de nerfs qui se dirigent vers les viscères du ventre, et semblent plus particulièrement affectés au canal digestif; il termine la chaîne rachidienne; il s'atténue en arrière en un cordon nerveux d'un fort calibre simple jusque vers le milieu de la cavité abdominale, où il se divise en deux fortes branches subdivisées à l'infini formant les *nerfs génitaux*. Avant cette division primaire, ce cordon ou tronc émet deux paires symétriques de petits nerfs.

Aux yeux d'un entomotomiste pratique, ce ganglion ellipsoïdal a tout l'aspect d'un ganglion abdominal; non-seulement il en a les fonctions par les nerfs qu'il produit, mais il n'est pas très rare de le trouver dans la cavité de l'abdomen, soit que les tractions de la pince l'y aient entraîné, soit qu'il y ait été momentanément logé par certains actes vitaux. Sa forme en navette, dont le grand diamètre est suivant l'axe du corps, doit favoriser son passage dans le détroit thoraco-abdominal. C'est cette circonstance de locomobilité, qui peut concilier, comme je l'ai dit plus haut, l'opinion de M. Blanchard avec ce que je viens d'exposer.

Du reste, un scalpel prudent rencontre toujours ce ganglion dans le métathorax, qui, en définitive, est son habitat normal.

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE 1.

(Toutes ces figures sont considérablement grossies.)

Fig. 6. Appareil sensitif du *Brachyderes lusitanicus*. — *aa*, les deux lobes du cerveau étalés, divergents, ventrus; *bb*, globes oculaires hérissés par les optiques ocellaires; *cc*, nerfs antennaires; *dd*, nerfs buccaux; *e*, œsophage passant sous le cervau; *ff*, cordons rachidiens bulbeux à l'origine, formant le collier œsophagien; *g*, œsophage suivi du jabot; *h*, origine du ventricule chylifique; *i*, premier ganglion thoracique avec une petite paire de nerfs récurrents; *kk*, deuxième ganglion à lobes étalés, terminés par les nerfs cruraux des premières pattes; *ll*, troisième ganglion formé par la soudure de deux autres; *mm*, nerfs cruraux de la deuxième paire de pattes; *nn*, une paire de nerfs à destination inconnue; *oo*, nerfs cruraux de la troisième paire de pattes; *p*, quatrième ganglion très petit, métathoracique; *qq*, cinquième ganglion, elliptique ou en navette, métathoracique; *rr*, une paire de nerfs destinée aux viscères abdominaux; *ss*, deux paires de petits nerfs naissant du cordon rachidien; *tt*, nerfs génitaux.

Fig. 7. Portion encore plus grossie de la tête du *Brachyderes* dont le tégument syncipital a été enlevé. — *aa*, cerveau à deux hémisphères contigus; *bb*, nerfs antennaires; *cc*, yeux; *dd*, cordons rachidiens, sortant du trou occipital; *e*, portion de l'œsophage et du jabot. — A, accolade embrassant les limites du thorax; B, mesure de la longueur naturelle du *Brachyderes*.

# HISTOIRE

DE

# L'ORGANISATION ET DU DÉVELOPPEMENT DU DENTALE,

**Par le Dr H. LACAZE-DUTHIERS,**
Professeur de zoologie à la Faculté des sciences de Lille.

(Suite et fin.)

## TROISIÈME PARTIE.

### Mœurs du Dentale.

Les mœurs et les rapports du Dentale doivent nous occuper dans les deux dernières parties de ce travail, car l'histoire d'un animal pour être complète doit non-seulement présenter, à côté des données anatomiques et physiologiques, les faits que l'étude des mœurs peut nous fournir, mais encore les notions qui résument surtout aux yeux des naturalistes toutes les autres, celles qui nous conduisent à la connaissance des rapports zoologiques.

Les détails qu'on va lire sont le résultat d'une observation directe; je puis les donner, je crois, en toute confiance, car c'est moi-même qui ai pêché les animaux durant deux étés, et je les ai observés pendant près de deux années entières.

Le Dentale abonde sur les côtes nord de la Bretagne; mais cela ne fait pas que l'on puisse l'avoir facilement dès que l'on arrive sur les grèves. Il faut savoir, en effet, où et comment il vit, sans cela on aurait beau chercher, l'on arriverait à trouver des coquilles roulées par la mer; mais voilà tout.

Le désir très vif que j'avais d'étudier cet animal me fit rechercher avec patience là où j'avais rencontré le plus grand nombre de coquilles roulées, car c'était l'indice certain de l'existence du Dentale dans ces parages. Mais quelques naturelles, quelques longues et persévérantes que fussent mes recherches, je ne trouvai et ne découvris rien. Une mer un peu agitée me fit cependant

rencontrer un individu vivant, et cela me permit d'observer les mœurs et toutes les conditions d'existence.

En le recueillant, je vis qu'il faisait des efforts pour pénétrer dans le fond de mes vases ; je l'abandonnai au milieu de l'une de ces petites flaques d'eau qui restent entre les fucus ou les zostères à marée basse, et je le vis peu à peu s'enfoncer dans le sable. Dès ce moment, je compris que l'animal isolé et libre que j'avais trouvé était une exception, et que c'était dans le sol des grèves mêmes qu'il me fallait désormais chercher, absolument comme pour les Acéphales. Mais ceux-ci décèlent leur présence par leur trou, et les pêcheurs qui les prennent pour faire des appâts savent très bien distinguer en quel point de la grève ils doivent fouiller pour arriver à leur but.

Or c'était là un second point à éclaircir, et l'étude du Dentale vivant que j'avais me montra qu'il ne s'ensablait pas profondément, qu'il ne faisait point un trou au fond duquel il restait ; aussi avais-je résolu de gratter le sable des grèves avec une petite houlette ou un rateau. Mais en agissant ainsi, la fatigue devenait très grande, et je ne trouvais guère que sept, dix, douze animaux par marée. Je dus changer de manière, et peu à peu les observations biologiques s'ajoutant, ma pêche ne fut bientôt qu'une promenade agréable.

L'animal ne s'enfonce pas verticalement ; il est ordinairement dans la position où il a été représenté de grandeur naturelle dans ce travail (1), et il avance incliné à peu près à 45 degrés. Cependant il faut dire que cela dépend un peu de la qualité du sable ; il ne peut vivre dans la couche vaseuse, noirâtre et souvent fétide, qui est habituellement sous la première couche arénacée des plages ; aussi devient-il plus horizontal, quand l'épaisseur de la couche de sable diminue ; dans ce dernier cas, il est presque toujours plus difficile à trouver : car il est complétement caché, et rien ne révèle sa présence.

Le plus habituellement, dans les vases remplis d'un sable choisi un peu gros où je le faisais vivre, il laissait paraître, au-dessus du

(1) Voyez *Ann. des sc. nat.*, 4e série, Zool., t. VI, pl. 11, fig. 4.

niveau du fond de 1 à 2 millimètres de sa coquille, bien souvent néanmoins, son extrémité pointue affleurait exactement la surface du sable. Ces raisons font comprendre comment il se fait que le Dentale est facilement roulé par la vague, qui le met bien vite à nu pour peu qu'elle soit agitée. Ce n'est pas à dire cependant qu'une fois sorti du sable et laissé à sec par la marée, il ne s'enfonce bien vite de nouveau; au contraire, cela a lieu tout de suite; il fait saillir son pied, l'enfonce, et, dans quelques instants, il se relève, et semble alors planté dans la grève.

Quand on conserve les animaux, il es assez difficile de reconnaître au fond du tube les individus morts de ceux qui sont encore vivants, et je mettais à profit cette particularité pour faire le choix. Je plaçais sur un fond sablonneux humide une grande quantité de Dentales, ceux qui ne s'enfonçaient pas étaient bien près de mourir ou morts; le triage se faisait ainsi tout seul sans aucune difficulté.

Lorsque l'eau manque par le retrait du flot, et que la surface du sable est découverte, le Dentale s'ensable entièrement et disparaît; cela arrive bien moins souvent quand il est complétement immergé.

J'ajoute une remarque qui s'applique à tous ou à la plupart des animaux qui s'ensablent; ce fait général est important pour les recherches d'histoire naturelle; il a frappé les zoologistes, j'en suis sûr, et sans doute il est bien connu; on m'excusera donc si je l'indique, une répétition peut quelquefois être utile, par cela seul qu'elle appelle l'attention sur une particularité qui facilite les recherches. C'est d'ailleurs un fait d'observation que j'ai reconnu moi-même, ne l'ayant vu indiqué nulle part; il est tout à fait pratique, et par cela même mérite d'être pris en considération.

Le moment le plus fructueux pour trouver à marée basse les animaux qui habitent les grèves est celui qui se rapproche le plus de l'instant où la marée remonte. On comprend pourquoi; lorsque la mer baisse, beaucoup d'eau reste encore dans le sable, et quelque temps encore les animaux ensablés sont dans des conditions ou ils peuvent vivre sans gêne; mais bientôt, à mesure que la marée descend davantage, l'eau s'écoule aussi, et quand le niveau est très bas, le plus bas possible, c'est-à-dire quand la marée va

remonter, la grève commence à se dessécher, et les animaux sentant le besoin de l'eau se déplacent, et cherchent un endroit plus humide. C'est à ce moment que la pêche devient fructueuse pour toutes les espèces ensablées ; à quelque classe qu'elles appartiennent, toutes décèlent leur présence par des sillons et des mouvements du sol. Les Lutraires, les Bucardes, les Mactres, les Solens, se fon reconnaître alors avec la plus grande facilité, les derniers même sortent complétement de leur trou, et l'on peut les ramasser couchés sur le sable. J'ai trouvé des Siponcles très beaux et très volumineux qui sortaient de la grève, et cela au moment où la marée me chassait, et me forçait à abandonner les recherches.

Le Dentale ne fait point exception à ce que je viens de dire ; aussi le voit-on labourer le sable. D'abord il ne fait qu'un petit sillon facile à reconnaître, que l'on confond aisément avec celui de la Pandore ; celle-ci cependant ayant une de ses valves plane, tandis que l'autre est convexe, décrit toujours une petite courbe ; ce signe m'empêchait de confondre et de fouiller le sable inutilement. C'est donc d'abord par son sillon dans le sable que les Dentales accusent leur présence ; mais plus tard, c'est la coquille elle-même qui semble plantée dans la grève, et qu'il est facile de reconnaître ; plus tard encore, c'est la coquille tout entière qui paraît, car, après s'être redressé, l'animal tombe sur le sable. Dès que j'eus reconnu ces faits, il me fut facile de trouver sans peine jusqu'à deux cents individus dans une seule grande marée.

Mais ce n'est pas indistinctement et dans tous les points que vit le Dentale ; il faut trouver encore les petites localités d'une plage qu'il habite de préférence.

La plage de la Combière, au milieu du groupe des Hébiens, à quelques lieues à l'ouest de Saint-Malo, m'a paru être un point où le Dentale vit et se multiplie beaucoup. Cette plage, située au nord de la pointe de terre ferme, à l'est de l'île de la Colombière, au sud-ouest et à l'ouest de la grande île des Hébiens, entourée de petites roches particulières, qu'on nomme dans le pays la *grande et la petite Margattière*, *Foirrouse*, les *Piètles*, *Couïet*, etc., est sablonneuse dans la partie la plus élevée du côté de l'est ; elle va en pente vers l'ouest, vers la Colombière, et se

couvre là de prairies marines très belles formées par les Zostères, qui ne découvrent qu'aux marées basses très grandes des nouvelles ou pleines lunes. C'est sur la limite des prairies que j'ai rencontré le plus souvent les Dentales, surtout sur le bord des inégalités qui sont dues aux îlots de Zostères; on croirait que derrière ces petits monticules d'un demi-pied de haut les Dentales trouvent un abri.

Lorsque les vagues plus grandes et plus agitées de la marée des syzygies de la lune se retirent plus loin, les Dentales sortent du sable pour chercher l'eau, la marée les surprend et les roule sur la grève; aussi, au second et troisième jour, et même bien avant, les Dentales se trouvaient en grand nombre derrière les points qui, plus élevés, déterminaient des remous de la vague. A l'époque où j'observais, il y avait derrière la grande et la petite Margattière, et près de Couïet, des points où des petits ruisseaux s'établissaient par suite de l'écoulement des eaux infiltrées dans le sable, et laissaient à la basse mer une élévation, derrière laquelle j'ai trouvé toujours beaucoup de Dentales; il faut bien croire que leur présence dans ces points était due à la cause que je viens d'indiquer, l'entraînement par les courants, car, dans les autres moments, la même chose ne se produisait pas. Dans les mortes mers et les faibles grandes marées, bien que les points que j'indique fussent découverts, je n'y trouvais jamais rien (1).

Le Dentale est donc un animal qui vit relativement à d'assez grandes profondeurs, et qu'on ne devra espérer rencontrer qu'au moment où les marées sont fortes.

(1) Les cartes marines publiées par le ministère de la marine m'ont particulièrement servi pour me guider au milieu du groupe des petites îles des Hébiens; la position de la Plage de la Colombière y est surtout parfaitement indiquée. Quelques bancs de sables plus élevés changent seulement de place, et ces faits ne peuvent en rien amoindrir la valeur de ces cartes merveilleuses d'exactitude. M. Beautemps-Beaupré a rendu, sans doute, de très grands services, par ses travaux, aux navigateurs; mais il est d'un secours immense aux naturalistes explorateurs; car avec ces cartes, sur lesquelles il a eu le bon esprit de conserver les noms principaux donnés par les habitants du pays, il est impossible de ne pas reconnaître jusqu'aux moindres rochers. Pour quiconque voudrait établir la géographie zoologique de nos côtes, il y aurait dans les cartes un cadre tout fait.

Le sable dans lequel il s'enfonce de préférence est un peu gros ; dans celui qui est très fin, je n'en ai jamais trouvé. Les animaux que j'ai longtemps conservés vivants paraissaient se trouver très bien du sable formé de débris de coquilles ; le sable fin se putréfiant très vite en dessous, les animaux y mouraient avec une grande rapidité.

Les faits que je viens d'indiquer montrent suffisamment que le Dentale n'habite point un tube comme beaucoup d'Acéphales, mais qu'il se déplace au contraire à chaque instant.

La facilité avec laquelle il vit et résiste aux changements doit porter à penser qu'il se trouve dans beaucoup de parages, et que si sa présence n'a pas été plus soigneusement indiquée, c'est qu'on n'a pas connu son mode d'existence, et par suite sa présence.

J'ai pu étudier avec soin une foule de particularités anatomiques, en raison de cette facilité à supporter tous les changements, facilité qui, il faut le dire, a dépassé de beaucoup mes espérances et mes prévisions. Ainsi quelques Dentales ont fait, vivant dans des carafes, sans même changer d'eau, deux voyages considérables : de Saint-Malo j'en ai porté dans le midi de la France.

De la même localité, j'en ai apporté à Courseules en Normandie, de là à Paris ; quelques-uns ont survécu longtemps, et ont fait de Paris à Lille deux fois le voyage dans un flacon avec un peu de sable, et puis ils ont vécu, du mois de septembre 1854 au mois d'avril 1856, de dix-huit à vingt mois.

On a vu comment il fallait comprendre la pénétration du Dentale dans le sable ; je n'y reviendrai pas ; je rappellerai seulement que les lobes latéraux de son pied en se dilatant jouent le rôle de véritables grappins, de telle sorte que lorsque l'animal se contracte après avoir dilaté son pied, tout son corps doit se rapprocher du sommet et avancer.

Je ne puis trop comprendre d'après ces faits la phrase suivante du travail de M. Clark. Après avoir parlé du pied, il ajoute : « And » also to climb and secure its food from the stems of the foramini- » ferous polypieria. » Si l'animal ne s'ensable, il ne peut se déplacer.

L'entrée de l'eau dans la coquille, sa sortie, ainsi que celle des excréments et des produits de la génération, ayant donné lieu à des dissidences d'opinion, j'ai dû chercher à connaître exactement ce qui en était.

Il ne me paraît y avoir aucun doute possible : l'entrée de l'eau a lieu par le sommet et sa sortie par la base. L'embryogénie fournit des faits incontestables ; c'est ainsi que, sur des embryons, on voit les particules que charrie l'eau traverser le tube du manteau, du sommet vers la base. Sur les adultes, il est facile d'observer aussi les mouvements dans le même sens. Ainsi les œufs que viennent de pondre les femelles restent souvent accumulés en tas à côté du sommet par lequel ils sont sortis, et l'on voit après quelque temps qu'ils sont rentrés dans le tube, l'ont traversé de nouveau, car ils tombent par l'ouverture de la base. Il suffit d'ailleurs de considérer l'animal ensablé, pour comprendre qu'il ne laisse au-dessus du sol son extrémité postérieure qu'afin de pouvoir respirer toujours une eau pure.

Cependant il n'est pas douteux aussi que le Dentale ne renvoie par l'extrémité postérieure et ses excréments et les particules qui l'embarrassent ou le fatiguent, et enfin les produits de la génération.

Quand je plaçais dans des cuvettes, assez peu profondes, des Dentales avec du sable et seulement un peu d'eau, la coquille se trouvait soit au niveau de l'eau, soit un peu au-dessous ; et j'étais frappé de la véritable pluie de petites gouttelettes qui entouraient la base de la cuvette, ou qui étaient sur ses bords. Je ne tardai pas à remarquer que l'animal lançait quelquefois un petit jet d'eau ; d'après cela, il ne peut faire de doute que l'animal ne puisse rejeter par son extrémité postérieure l'eau qui est dans le tube de son manteau.

D'une autre part, j'ai assisté maintes fois à la ponte et à la spermatisation, et toujours j'ai vu les produits qui sont rejetés en arrière, être lancés d'une manière active du côté du sommet. C'est par jets saccadés, interrompus par des sortes de mouvements d'expiration, que l'on voit toujours sortir les œufs et le nuage blanc formé par la liqueur séminale.

Je crois qu'il faut expliquer de la manière suivante l'expulsion en arrière des produits. Cette explication n'est pas une hypothèse; elle est le résultat de l'observation directe.

Les Dentales qui pondaient dans les assiettes étaient faciles à suivre et à observer, et toujours, lorsque le jet avait lieu, le pied rentrait brusquement. Cet organe jouait dans l'intérieur du manteau le rôle d'un piston, et toutes les fois que l'animal voulait se débarrasser des produits tombés dans la cavité de son manteau, il le rentrait brusquement et chassait l'eau et le reste au dehors.

Il ne me paraît pas contestable que ce même mécanisme ne puisse être employé pour rejeter les excréments; mais je ne pourrais l'affirmer, car le Dentale en rejette fort peu, et je n'ai pu directement reconnaître le fait.

Quant à la nourriture, elle doit être apportée probablement de deux manières à la bouche. Le courant d'eau qui va du sommet à la base passe d'abord en dessous du corps; puis, arrivé au talon du pied, remonte de chaque côté sur le dos, et passe près de la bouche; il est donc tout naturel de penser que l'eau puisse charier des matières alimentaires qui, en passant devant la bouche, soient saisies. Mais, d'un autre côté, je crois aussi que les tentacules peuvent, en s'introduisant entre les grains de sable, aller chercher et prendre les petits Foraminifères et autres êtres qui vivent en si grand nombre dans les grèves de la mer.

Je ne puis donc partager l'opinion de M. W. Clark relativement à la distinction absolue qu'il établit touchant la sortie des matières fécales : sans doute, le courant respiratoire peut les entraîner vers la base; mais certainement aussi elles peuvent être rejetées brusquement par le mécanisme que j'indiquais plus haut.

Quant aux fonctions d'innervation, voici ce qu'il est facile d'observer : Le Dentale ressent l'impression de la lumière; on le voit faire rentrer son pied, si l'on fait tomber sur lui un rayon de soleil. La même chose s'observe quand on approche un flambeau, l'animal rentre dans sa coquille; et cela se rapporte bien à une particularité de mœurs.

Il se déplace pendant la nuit, surtout au commencement. J'avais

remarqué, le soir quand j'écrivais mes notes, que les animaux, placés dans des assiettes, faisaient entendre un petit cliquetis particulier. En observant avec soin, je reconnus que leur pied en faisant des efforts pour pénétrer soulevait la coquille, que celle-ci en retombant et choquant l'assiette produisait le bruit.

J'observai alors les animaux pendant longtemps, ceux surtout placés dans des conditions presque naturelles, et je reconnus bientôt que c'était aussi pour eux le moment du déplacement. Je ne veux cependant pas dire que le mouvement n'ait lieu qu'à un seul moment, que l'immobilité soit complète dans le jour; mais il me paraît incontestable que c'est surtout pendant la nuit que les Dentales entrent en activité.

La reproduction présente aussi quelques faits dignes de remarques. L'accouplement n'existe pas; cela devait être, puisqu'il n'y a pas d'organes extérieurs de la reproduction; il n'y a pas même rapprochement des individus. Il est trop facile d'observer le Dentale, et d'étudier les moindres détails des conditions biologiques, en raison même de la facilité avec laquelle il se prête à toutes les exigences de l'observation, pour que l'erreur puisse être possible à cet égard.

Je plaçais les Dentales dans des assiettes blanches; c'étaient les vases qui m'avaient paru préférables, et je les abandonnais à eux-mêmes en ayant soin de renouveler l'eau. Après quelques jours, j'avais presque à coup sûr des pontes, et constamment elles avaient lieu dans la journée entre deux et cinq heures. Cependant j'en ai eu quelques-unes à diverses heures; mais presque toujours il m'a paru, dans ce dernier cas, qu'une forte insolation en avait été cause.

Quand je voulais observer la sortie des œufs et leur évolution embryonnaire, je commençais à me préparer pour trois ou quatre heures, n'ayant jamais obtenu d'œufs après cinq heures du soir quoique cependant plusieurs centaines de Dentales eussent pondu à diverses époques des mois d'août et septembre.

Les œufs et le sperme sortent à peu près au même momen de la journée et de la même manière, par l'extrémité postérieure de

la coquille. La femelle accumule les premiers à son extrémité, et ne les lance pas au loin ; elle les fait sortir par intervalles, et par le mécanisme qui va être indiqué ; leur volume et leur teinte foncée les fait reconnaître facilement sur le fond blanc de l'assiette ; ils semblent unis entre eux, mais très lâchement, par un peu de mucus.

Le mâle, à des intervalles rapprochés, lance son sperme, à un ou deux pouces, comme un nuage blanchâtre formant de longues fusées ; il est facile, dans la position où ont été placés les animaux, d'observer ce qui se passe ; il y a véritablement comme une sorte d'éjaculation qui se répète plusieurs fois.

On voit le pied sortir un peu au delà du bord libre du manteau, puis rentrer brusquement ; à ce mouvement correspond le jet vif de la matière séminale, et cela se répète plusieurs fois de suite ; évidemment la semence sort des glandes génitales, s'accumule dans le manteau, et est rejetée poussée par le pied, comme par un piston. Il y a beaucoup plus de vivacité dans les mouvements du mâle que dans ceux tout à fait semblables qu'exécute la femelle pour se débarrasser des œufs.

De même que ceux-ci semblent réunis par une matière visqueuse, de même le sperme forme, pendant quelque temps, un nuage épais dans la direction où il a été lancé. Si, avec une pipette, on va puiser au milieu du jet, on trouve le liquide fourmillant de myriades de spermatozoïdes extrêmement vifs.

Mais après quelque temps, les œufs deviennent libres, et les nuages de sperme disparaissent ; l'eau est un peu blanchâtre, et, à ce moment, partout elle présente des milliers de spermatozoïdes d'une vivacité incroyable. L'agilité de ces petits êtres est telle que l'on ne peut les suivre dans le champ du microscope où ils passent comme des traits.

On le voit, la fécondation est ici, comme dans la plupart des Acéphales, abandonnée au hasard. Le mâle d'un côté, la femelle de l'autre, lancent les produits de leurs glandes génitales, et ces produits se rencontrent ou ne se rencontrent pas, absolument comme chez les plantes dioïques où le pollen tombe et est emporté par les vents au hasard dans telles ou telles directions. Qu'un

vent soit contraire, et les pieds femelles resteront inféconds; de même ici qu'un courant d'eau soit contraire, et la femelle ne produira rien. Les œufs ne se développeront pas.

On comprend l'utilité des mouvements si vifs que présentent les spermatozoïdes, puisqu'ils doivent aller chercher au loin l'œuf et le féconder.

Je veux enfin, en terminant, montrer encore une fois que les produits de la génération sont toujours rejetés par l'extrémité pointue de la coquille, et qu'en même temps il y a bien un courant de ce sommet à la base.

Quand les animaux sont ensablés, on ne voit jamais un animal complétement couvert émettre sa semence et ses germes; toujours son sommet fait saillie au-dessus du niveau du sable, et toujours l'œuf et le sperme sont rejetés de la même manière.

L'époque de l'année, pendant laquelle m'ont paru se reproduire les Dentales, est du commencement d'août à la mi-septembre; je n'ai point d'expériences dans les mois de juillet et de juin; peut-être dans ces mois les animaux peuvent-ils déjà se reproduire, cela me semble même probable; mais je ne saurais rien affirmer, n'ayant pas alors placé les Dentales dans les conditions où je les mis plus tard.

## QUATRIÈME PARTIE.

### Rapports zoologiques du Dentale.

Les travaux anatomiques et physiologiques, si intimement unis entre eux, doivent toujours conduire à l'histoire naturelle proprement dite. Ils doivent toujours nous faire arriver à la zoologie; ils doivent servir à grouper, à classer méthodiquement les animaux; car le but vrai, le but réel de tout fait anatomique, c'est la démonstration des rapports naturels des êtres. Nous devons donc mettre à profit les détails qui précèdent, chercher à apprécier les rapports du Dentale, et à juger de la place qu'il doit occuper dans les cadres zoologiques.

Longtemps on s'est demandé : Le Dentale est-il un Mollusque?

Cette question étant résolue affirmativement, il convient aujourd'hui de rechercher autre chose. Il faut apprécier des rapports d'un ordre différent; il faut se demander si le groupe établi pour lui, spécialement pour lui, doit être conservé; et comme une réponse négative ne peut être douteuse, il faut voir si les divisions classiques existant déjà doivent le recevoir, ou bien s'il est nécessaire d'en créer de nouvelles destinées à donner une idée exacte de sa position zoologique. Enfin on peut rechercher s'il a des rapports éloignés avec les êtres des embranchements voisins.

Aujourd'hui donc plus de doute, le Dentale est un Mollusque. Cette opinion, entrevue par Savigny, a été démontrée par M. Deshayes en 1825 ; elle a été confirmé de nouveau, en 1849, par le travail de M. Clark.

Voyons comment on a classé le Dentale ; voyons si les opinions des naturalistes sont en rapport avec les faits que l'anatomie et la physiologie nous ont présentés.

De Blainville (1) est le premier qui ait assigné à cet animal une place méthodiquement choisie parmi les Mollusques. Guidé par l'interprétation de M. Deshayes, sur la nature des filaments placés du côté du dos et dans le voisinage de la bouche, il créa, dans la sous-classe des *Paracéphalophores hermaphrodites*, un premier ordre spécialement destiné à recevoir le Dentale; il lui donna le nom de *Cirrhobranches*, en raison même de la signification physiologique et de la forme des filaments décrits comme branchies. L'on sait que la classe des *Paracéphalophores* dans la classification de de Blainville correspond à peu près aux *Gastéropodes* de tous les auteurs; en sorte que le Dentale était ainsi un Gastéropode. Mais, par une erreur anatomique, il fut placé dans une sous-classe dont le caractère était l'hermaphrodisme.

Cette erreur le faisait ainsi entrer dans la division qui renfermait les Patelles, les Fissurelles, les Cabochons, etc.

La distribution méthodique de de Blainville date de 1825 ; et cependant, dans l'édition du *Règne animal* publié en 1830, Cuvier continuait à placer le Dentale dans les Annélides tubicoles, mais

(1) Voyez *Manuel de malacologie*, ou l'article MOLLUSQUE de cet auteur dans le grand *Dictionnaire d'histoire naturelle en 60 volumes*, t. XXXII, p. 286.

avec doute, et en indiquant les travaux qu'il y avait à faire pour arriver à connaître les véritables rapports zoologiques.

Le Dentale n'ayant occupé à peu près aucun naturaliste depuis 1825 jusqu'à 1849, les doutes de Cuvier persistèrent. Cependant ceux des auteurs qui admettaient les opinions de M. Deshayes, regardaient le Dentale comme un Mollusque, en conservant pour lui seul une division spéciale.

C'est ainsi que M. von Siebold (1), dans son *Manuel d'anatomie comparée*, conserve le nom créé par de Blainville ; mais il l'applique à une famille, au lieu de le donner à un ordre. Le Dentale est le type des *Cirrhibranches*, première famille des Tubicoles, troisième sous-ordre des Gastéropodes, premier ordre des Céphalophores. Il se trouve ainsi dans la classification du savant allemand placé non loin des Vermets et des Magiles, et il est éloigné au contraire des Patelles, des Fissurelles et des Cabochons.

En 1849, M. Clark (2), reprenant l'anatomie du Dentale, et n'étant nullement d'accord, comme on l'a vu, dans ses interprétations avec M. Deshayes, devait évidemment s'occuper des rapports zoologiques. L'examen des caractères que lui fournissaient l'anatomie et la physiologie le conduisait à admettre que le Dentale est une modification du type gastéropode, et qu'il forme l'un des premiers anneaux, si ce n'est le premier de la chaîne des Gastéropodes ; qu'enfin il a des analogies avec les Acéphales et avec les Annélides. Ces analogies, ces ressemblances, avaient déjà frappé les auteurs précédents, leurs classifications en font foi ; mais dans le travail de M. Clark, pas plus qu'autrefois, elles ne sont basées sur des faits exacts. C'est ainsi que l'analogie, très éloignée avec les Annélides, a son point de départ pour l'auteur anglais dans la coloration du sang des prétendues branchies. Or il n'est pas douteux que le foie n'ait été pris pour les branchies, et que la couleur de ce dernier n'ait été regardée comme appartenant au sang. C'est le système nerveux qui fait rapporter le Dentale au type Mollusque gastéropode ; or l'auteur n'a connu que deux gan-

(1) Voyez *Anatomie comparée*, t. I, p. 294. — Siebold, traduction de MM. A. Spring et Th. Lacordaire.

(2) Voyez *loc. cit.*

glions : l'on verra que c'est le système nerveux qui nous fait au contraire rapprocher le Dentale des Acéphales.

S'il faut le ranger dans les Gastéropodes, c'est encore pour l'auteur anglais, en raison de la perfection de l'appareil de la circulation. On a vu que l'imperfection même de cet appareil nous avait paru l'un des points très remarquables de l'histoire physiologique du Dentale.

De même que de Blainville avait pris pour guide, dans sa classification, le travail de M. Deshayes, de même MM. Forbes et Hanley (1) dans leur *Histoire des Mollusques d'Angleterre*, s'appuyant sur les observations de M Clark, ont placé différemment le Dentale que les auteurs antérieurs ; ils admettent la division générale des Gastéropodes, telle qu'elle a été proposée par M. Milne Edwards en 1848 ; et dans les *Gasteropoda prosobranchiata*, ils établissent successivement différentes familles dans l'ordre suivant : les *Chitonidæ*, les *Patellidæ*, les *Dentalidæ*, les *Calyptræidæ*, les *Fissurellidæ*, les *Haliotidæ*, etc.

Cette citation suffit pour faire connaître les rapports généraux admis par ces auteurs qui considèrent le Dentale comme une transition entre la forme de la Patelle et celle de la Fissurelle ; peut-être semblent-ils penser qu'il serait mieux de le placer entre les Oscabrions (*Chitons*) et les Patelles.

Enfin M. F. Troschel (2), dans le *Manuel de zoologie*, assigne au Dentale une position à peu près semblable à la précédente ; il le place dans les Gastéropodes cyclobranches, quatrième sous-ordre, qui ne renferme que les familles des *Patellina*, des *Chitonidæ* et des *Cirrhobranchiata*. Les idées de M. Deshayes se trouvent reproduites dans cet ouvrage, bien qu'il date de 1853.

Telle est la position assignée au Dentale par les auteurs. Je ne parle point des opinions antérieures au mémoire de M. Deshayes ; elles se trouvent relatées dans le travail du savant conchyliologiste, et on pourra les y consulter.

(1) Voyez *A History of British Mollusca and their Schells*, by prof. Edwards Forbes and Sylvanus Hanley, *Dentalidæ*, t. II, p. 446.

(2) Voyez *Handbuch der Zoologie*. Vierte Auflage nach dem Handbuche von Wiegmann und Ruthe, von Franz Troschel und Johann Ruthe, 1853.

La division la plus naturelle des Mollusques est celle qu'a proposée M. le professeur Milne Edwards. Ce savant naturaliste partage le groupe des Mollusques en deux sous-embranchements : les *Mollusques* proprement dits et les *Molluscoïdes*. Dans les premiers se trouvent des types sur lesquels on est généralement d'accord : tels sont les Céphalopodes, les Ptéropodes, les Gastropodes, les Acéphales. Voilà des divisions plus ou moins étendues, mais sur lesquelles aujourd'hui on s'entend. Nous n'avons trouvé dans les caractères que l'organisation a pu nous fournir aucune raison pour rapprocher le Dentale des deux premiers ordres, non plus que du sous-embranchement que M. Milne Edwards a nommé Molluscoïde où se trouvent les Ascidiens et les Bryozoaires. Puisqu'il n'existe nulle ressemblance, il n'y a pas de rapports possibles.

Il ne reste donc que les Gastéropodes et les Acéphales. Le Dentale doit-il être dans l'un ou dans l'autre de ces ordres? Voilà à quoi se réduit la question.

Prenons les faits anatomiques et physiologiques, faisons-en la somme, établissons leur valeur respective, et voyons par ce travail comparatif lequel de ces deux groupes est celui qui doit le recevoir.

Nous appelons Gastéropode non pas seulement un animal ayant sous son abdomen un muscle servant à ramper, à se mouvoir, car à ce titre un Acéphale deviendrait un Gastéropode, mais bien un être dont tous les organes sont asymétriques; dont les orifices digestifs s'ouvrant plus ou moins près l'un de l'autre, ne sont jamais dans un même plan médian; dont l'appareil génital présente un grand développement, surtout dans ses parties accessoires, comme celles qui servent à l'accouplement ou à la ponte; dont les organes des sens sont le plus souvent développés et portés sur une tête; dont le système nerveux général est aussi un peu dévié latéralement, rejeté sur le côté par l'une de ses parties, et par conséquent asymétriquement disposé; enfin dont les organes de la respiration et de la circulation se trouvent presque généralement placés sur l'un des côtés de la ligne médiane. Il y a sans doute des exceptions à ce plan général du Gastéropode,

car dans tous les groupes la nature a établi des dégradations, qui nous font rencontrer toujours des exceptions à côté de ces types que notre esprit aime à créer uniques.

Le Dentale se présente-t-il avec ce caractère auquel la forme de la coquille, la disposition du muscle s'ajouteraient encore pour donner le dernier cachet à la forme gastéropode?

Dans presque tous les Gastéropodes, quelque dégradés qu'ils soient, on trouve le plus souvent une partie antérieure développée, et formant une tête plus ou moins caractérisée par des tentacules ou autres organes des sens. Ici, rien de semblable : on ne peut évidemment trouver dans le bulbe buccal (1) l'analogue de la tête du Gastéropode; c'est tout au plus si l'on pourrait dans son ensemble le prendre pour l'analogue d'une bouche prolongée en une trompe et entourée de franges labiales.

Le système nerveux (2) pris dans son ensemble s'est montré très régulier et sans trace de distorsion ou de transport d'une partie de lui-même sur l'un des côtés du corps.

Dans le système musculaire et locomoteur (3), on trouve non-seulement peu d'analogie, mais, au contraire, des caractères différentiels. Les deux muscles rétracteurs du corps sont parfaitement symétriques, jamais cela n'a lieu pour les Gastéropodes.

Le pied (4) ne ressemble nullement à cet organe dans aucun des sous-ordres des Gastéropodes ; il est entièrement différent.

Quant au manteau (5), nous ne le voyons guère soudé en un tube dans les Gastéropodes, au moins en dessous du pied et du corps. C'est, au contraire, au-dessus qu'il forme, dans quelques cas, une voûte, ou mieux un cul-de-sac.

Les organes de la sécrétion urinaire, ou les corps de Bojanus (6), sont ici symétriquement disposés ; cela n'arrive pas dans les Gastéropodes.

(1) Voy. *Ann. des sc. nat.*, 4ᵉ série, Zool., t. VI, p. 237, pl. 8, fig. 21, *ab*, *ll*, *b*).

(2) *Ibid.*, p. 360, pl. 13.

(3) *Ibid.*, p. 357, pl. 11.

(4) *Ibid.*, p. 352, pl. 11.

(5) *Ibid.*, p. 320, pl. 11.

(6) *Ibid.*, t. VII, p. 188, pl. 5, fig. 1, *II*.

De même ceux de la reproduction (1); toutefois on a vu que, si la glande génitale était semblable des deux côtés du corps, son canal excréteur était simple, impair, et s'ouvrait du côté droit, comme cela a lieu habituellement chez les Gastéropodes. Quant aux appareils secondaires, organes copulateurs, glandes accessoires, etc., dans ces derniers, luxe véritable par la multiplicité et la variété des formes; dans le Dentale, au contraire, rien.

La respiration et la circulation (2) sont bien incomplètes. Dans cette dernière fonction, on pourrait tout au plus retrouver quelques analogies secondaires, bien secondaires, bien éloignées avec le groupe des Gastéropodes que M. Kölliker a nommé les *Anangiës*.

Les deux parties de l'organisme qui permettraient seules un rapprochement entre le Dentale et le Gastéropode sont la coquille, le tube digestif, mais ce dernier dans une seulement de ses parties.

On sait que, dans beaucoup de Gastéropodes, la bouche est garnie d'un repli soutenu par un cartilage, et hérissé de pièces cornées dentiformes. Cet appareil, dur et résistant, constitue une langue râpeuse, caractéristique de beaucoup de groupes. Les *Anangiés* ou Mollusques nus, souvent désignés sous le nom de *Phlébentères*, et les Patelles, les Oscabrions, etc., etc., présentent une langue fort complexe et fort développée. Le Dentale est absolument dans le même cas, et si l'on ne considérait que sa langue (3), à coup sûr, on en ferait un Gastéropode.

M. Lovén a publié un travail ayant pour but de donner des principes propres à grouper et à classer les Gastéropodes d'après les dents de leur langue. Il a pensé que, pour l'étude des fossiles, cette connaissance serait pleine d'intérêt et d'utilité, puisque, à l'aide d'une pièce cornée, on pourrait arriver à déterminer plus exactement la position zoologique d'êtres éteints depuis longtemps, en ajoutant ainsi à la matière fournie par le test une nouvelle indication tirée de l'appareil digestif.

D'après ce qui vient d'être dit, on doit voir que le Dentale s'éloigne des Gastéropodes. Cela deviendra bien plus évident plus

(1) Voyez *Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. VII, p. 173, pl. 5, fig. 1 (*ab*).
(2) *Ibid.*, p. 5, pl. 2, 3, 4.
(3) *Ibid.*, t. VI, p. 325, pl. 11, fig. 4, pl. 12.

tard ; il y aurait donc danger à donner trop de valeur à un seul caractère, car on pourrait placer dans un groupe des êtres qui appartiendraient à un autre.

Qu'on le remarque, ce n'est que par les parties solides de leur organisme, et c'est une chose curieuse, que le Dentale peut être rapporté au groupe des Gastéropodes. Sa coquille (1) offre une ressemblance de structure frappante avec ce que nous montrent les Patelles. J'ai déjà insisté sur ces faits assez longuement pour n'y point revenir.

Quant à la forme extérieure, la coquille des Fissurelles peut être avec quelque raison rapprochée de celle du Dentale. Elle est, en effet, conique, percée à son sommet d'une ouverture ; toute la différence apparente consiste dans la longueur, ou si l'on veut dans la hauteur du cône, qui dans un cas est bien moindre que dans l'autre, relativement au diamètre transversal. Il y a un intéressant sujet de recherche dans l'embryogénie de la Fissurelle. Ainsi dans les êtres adultes, les différences sont faciles à saisir : la cavité respiratoire est abdominale dans le Dentale, elle est dorsale dans la Fissurelle. Il y aurait donc à rechercher comment se forme cet orifice de la coquille de la Fissurelle, et comment ou aux dépens de quoi est produite la cavité branchiale ; alors on pourrait établir les rapports entre les deux êtres.

Faisons la comparaison maintenant avec un autre type des Mollusques.

Nous concevons un Acéphale, surtout un Acéphale lamellibranche, comme un être dont toutes les parties, quelquefois irrégulières, sont cependant symétriques par rapport à un plan médian vertical, dirigé d'avant en arrière. La bouche, placée en avant, est entourée souvent de tentacules, de franges ou de replis labiaux ; jamais elle n'est portée par une partie distincte du corps par une tête. L'anus est placé en arrière ; sur la ligne médiane, le cœur est symétrique, ainsi que les branchies. Les organes de la sécrétion urinaire sont placés de chaque côté du corps au-dessous de l'anus, ou mieux du rectum. Le manteau, composé de deux voiles, se soude

(1) Voyez *Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. VI, p. 241, pl. 10.

souvent en dessous, et forme un tube qui renferme le corps et le pied. Le pied lui-même est un appendice plus ou moins extensible placé à la base de la cavité viscérale. Il est rapproché ou éloigné de la coquille par deux paires de muscles parfaitement semblables. Le système nerveux est toujours disposé de la même manière : trois paires de ganglions, une au-dessus de la bouche, une dans le pied, une dans le voisinage, mais en avant de l'orifice anal.

Que l'on superpose sous ce plan, sur le patron sur lequel est taillé, si je puis ainsi parler, le Dentale, et l'on verra s'il ne coïncide pas dans un plus grand nombre de points avec celui de l'Acéphale qu'avec celui du Gastéropode.

D'abord, les traits de dissemblance sont ceux-là mêmes qui nous auraient permis de rapprocher le Dentale du Gastéropode. Ici, point de langue râpeuse et dentelée ; ici encore deux valves à la coquille. Voilà deux caractères qui, s'ils étaient seuls invoqués, ne permettraient pas un instant de faire un rapprochement avec les Acéphales.

Mais le système nerveux qui est si important, le système nerveux, qui est l'organe caractéristique de l'animalité, paraît identiquement le même, non-seulement pour le nombre des parties, mais pour leurs rapports avec les autres organes. Que l'on considère la bouche et l'anus dans leurs rapports avec les ganglions, et tout est absolument semblable avec ce qui existe chez le premier Acéphale lamellibranche venu. Il serait, par exemple, difficile de trouver une différence entre les systèmes nerveux pris dans leur ensemble d'une Moule, d'un Anodonte, d'une Bucarde, etc., et celui du Dentale.

La forme, la position des otolithes, celles des ganglions pédieux, etc., tout est semblable dans les deux cas.

Des rapports certainement bien remarquables sont ceux qu'affectent les orifices des organes de Bojanus, de la glande génitale et de l'anus avec les ganglions correspondant aux ganglions branchiaux. Que l'on considère un Acéphale et le Dentale renversés l'un et l'autre sur le dos, on verra une analogie complète entre les deux pour les rapports que je signale maintenant. Ici l'oviducte est unique, il est vrai, et vient s'ouvrir dans le sac de

Bojanus. Mais celui-ci a ses orifices, tant à droite qu'à gauche, en dehors des connectifs bucco-branchiaux, rapports que j'ai démontrés exister constamment dans les Acéphales lamellibranches. L'anus est en arrière de la commissure qui unit les deux ganglions branchiaux. Ici même chose.

Dans toute cette partie postérieure au talon du pied, l'animal est complétement acéphale.

La circulation et la respiration s'accomplissent d'une manière si incomplète, que les organes ne sont pas plus comparables ici que dans le groupe des Gastéropodes parfaits ou supérieurs.

Le manteau forme un tube identique à celui de la coquille, et c'est par une soudure de ses bords primitivement libres que se complète ce tube. Voilà encore un trait de ressemblance.

Le pied du Dentale est l'analogue de celui des Acéphales, jusque dans les moindres détails, jusque dans l'usage qu'en fait l'animal. Beaucoup d'Acéphales, la plupart de ceux qui ne vivent pas fixes, s'enfoncent dans le sable ou la vase du fond des eaux qu'ils habitent. C'est à l'aide de leurs pieds qu'ils pénètrent ainsi en l'allongeant d'abord et le dilatant ensuite; le Dentale agit tout à fait de même.

Tels sont les rapprochements que l'on peut établir entre les Gastéropodes d'une part et les Acéphales de l'autre. Évidemment tout fait pencher la balance du côté des Acéphales.

Voyons si l'embryogénie ne peut pas, et ne doit pas nous aider aussi dans les rapprochements zoologiques, et d'abord quels sont les rapports ou analogies de l'embryon du Dentale et de l'embryon des autres Mollusques.

Le fractionnement se passant à peu près comme dans l'un et dans l'autre ordre de l'embranchement, il ne peut fournir de caractères (1).

Lorsque l'embryon a une forme, quand il nage à l'aide d'un disque moteur (2), et que la première période a fait place à celle

(1) Voyez *Ann. des sc. natur.*, 4e série, Zool., t. VII, p. 209, pl. 6, fig. 5 à 11.

(2) *Ibid.*, p. 231, pl. 7, fig. 6.

qui nous montre des contours plus déterminés, alors il ressemble, à certains égards, à un jeune Acéphale. Il n'a point deux roues motrices comme les Gastéropodes ; il n'en a qu'une. M. Lovén (1) cite quelques Acéphales ayant un long filament au centre même du disque ; ce filament rappelle évidemment la houppe de poils que l'on trouve ici dans le milieu de l'organe moteur.

Mais c'est surtout quand on examine un embryon d'Acéphale de profil, que l'on trouve dans la disposition du tube digestif, du pied et du disque, une très grande analogie avec le Dentale.

Ainsi par ses caractères l'embryon s'éloigne du Gastéropode, et s'approche au contraire des Acéphales.

Mais la coquille est différente; dans le Gastéropode, elle se développe impaire, dorsale, tandis que dans l'Acéphale elle commence par être double. Cela n'est point douteux ; l'analogie entre le Dentale et le type Gastéropode existe donc d'abord, mais elle s'efface bientôt, car dans un cas la coquille s'incurve d'un côté, et devient bientôt asymétrique, pendant qu'une lamelle se développe sous le pied, et forme le commencement de l'opercule ; tandis que dans l'autre rien de semblable ne se produit ; la coquille est impaire, il est vrai, mais elle est et reste parfaitement semblable des deux côtés (2).

Dans la formation du manteau, on ne trouve rien d'analogue à ce qui se produit dans les Gastéropodes ; il y aurait plutôt quelque chose de semblable avec la formation des deux voiles palléaux des Acéphales.

En résumé, dans l'embryogénie comme dans l'animal parfait, la somme des caractères nous rapproche du type Acéphale.

Il est encore des formes embryonnaires que l'on a observées dans quelques Mollusques : les Ptéropodes et les Oscabrions, qu'on peut rapprocher à certains égards de celles que présente à un moment le Dentale.

(1) Lovén. *Bidrag till Kanedomen om Utvecklingen af Mollusca Acephala lamellibranchiata*, dans *Koogl. Vetenskaps-Akademiens Handlingar for år*, 1848.

(2) Voyez *Ann. des sc. nat.*, 4e série, Zool., t. VII, p. 221, pl. 7, fig. 4, 5, 6, 7, 9.

MM. Gegenbaur (1) et Krohn (2) ont publié d'importante recherches sur l'embryogénie des Ptéropodes. Je ne puis faire connaître tous les résultats auxquels ils sont arrivés; je veux seulement faire remarquer que, à un moment de son existence, la larve du Ptéropode présente des cercles, des couronnes de cils vibratiles très marqués, analogues avec ceux de la larve du Dentale; mais cette analogie est passagère.

De même, d'après un travail de M. Lovén (3) peu étendu sur le développement de l'Oscabrion (*Chiton*), on peut juger que les formes de la larve de cet animal ont quelque chose de très différent du type Mollusque. On peut voir qu'elles rappellent, mais de loin, celle du commencement de la période de natation du Dentale. Le bouquet de poil impair et antérieur, la couronne ciliaire, tout offre de l'analogie; mais dans le travail du savant suédois, qui déjà fournit des données curieuses sur ce singulier animal, les transformations organiques ne sont pas poussées assez loin pour qu'il nous soit possible de chercher des ressemblances plus nombreuses.

Pour terminer tout ce qui touche à la recherche de ces rapports, voyons si le Dentale n'a pas quelques points de contact avec les embranchements voisins.

Il faudrait n'avoir point vu et observé une Térébelle pour ne pas trouver de la ressemblance entre les tentacules céphaliques de celle-ci et ceux du Dentale, quant à leur forme extérieure, leur position, etc.; car, pour la disposition du système nerveux, je n'établis pas de comparaison. Je croirais volontiers que c'est là ce qui, avec la coquille, a conduit quelques auteurs anciens à placer le Dentale dans les Annélides. On ne trouve pas seulement une analogie entre ces deux groupes dans l'adulte; on la remarque

(1) Voyez *Untersuchungen über die Pteropoden und Heteropoden*. Leipzig, 1855.

(2) Voyez *Beobachtungen aus der Entwickelungsgeschichte der Pteropoden und Heteropoden*, von d^r Krohn (dans *Archiv. für Anatomie und Physiologie*, von Johannes Müller, 1857, p. 159).

(3) Voyez *Ueber die Entwickelung von Chiton*. La traduction a été faite en allemand par M. Troschel (voyez *Archiv.*, 1856, 22e année, t. I, p. 206, pl. IX); en suédois, voyez *Ofversigt of Kongl. Vetenskaps-Academicus Forhandlingar*, 1855, p. 169.

encore dans l'embryon ; les larves sont très semblables. Ainsi rien ne ressemble à une larve d'Annélide comme l'embryon du Dentale quand il vient de sortir de la coque de l'œuf, et qu'il n'a pas encore de disque moteur ; il est alors piriforme, avec quatre couronnes de cils ; on croirait que c'est véritablement à ce moment un Annelé.

On voit, en résumé, que les raisons qui nous ont conduit à signaler des rapprochements ou des dissemblances entre le Dentale à l'état adulte et à l'état d'embryon, soit avec les divers ordres des Mollusques, soit avec l'embranchement des Annelés, sont très différentes de celles que nous avons vues guider les auteurs ; aussi sommes-nous conduit à classer différemment qu'eux le Dentale.

On peut résumer dans un tableau les différents rapports précédents, et exprimer ainsi la position du Dentale.

*Rapports généraux :*

| | | |
|---|---|---|
| LE **DENTALE** EST UN **MOLLUSQUE** par toute son organisation, | mais il a quelques ressemblances éloignées avec les | **ANNÉLIDES** par ses tentacules et ses premières formes embryonnaires. |

*Rapports dans l'embranchement des Mollusques :*

| | | | |
|---|---|---|---|
| LES **PTÉROPODES**. . . . . . . . . . . . . par les couronnes de cils de leurs embryons ont une analogie éloignée : | | avec | LE **DENTALE** qui est un **ACÉPHALE** par la symétrie générale de son corps, son système nerveux, son pied, son manteau, sa bouche, la position de son anus, ses organes de Bojanus, ses organes génitaux, ses formes embryonnaires primitives et l'existence d'un seul disque moteur. |
| LES **GASTÉROPODES** ont des rapports surtout dans les types : | **Oscabrions**. . . [par l'embryon et la langue.] | | |
| | **Patelles**. . . . . . [par la langue et la structure de la coquille] | | |
| | **Fissurelles**. . . . [par la forme de la coquille] | | |
| | **Anangiées** . . [par l'imperfection des organes de la respiration et de la circulation] | | |

Dans ces rapports généraux, on pourrait peut-être trouver des faits démonstratifs, des idées de l'un des plus actifs zoologistes de notre époque, de M. Van Beneden (1). Le savant professeur de Louvain veut diviser le règne animal d'une tout autre manière que ne le faisait Cuvier; il ne considère point les Zoophytes, les Annelés et les Mollusques, comme distincts et appartenant à des Embranchements séparés. La forme de la larve du Chiton, des Ptéropodes, et j'ajoute maintenant du Dentale, lui donne des raisons à l'appui de sa manière de voir. Il réunit dans un seul groupe les êtres dont nous venons de parler, en prenant pour point de départ les rapports du vitellus avec l'embryon; il le nomme l'*Embranchement des Allocotylés*, par opposition aux *Épicotylés* et *Hypocotylés* qui répondent aux Articulés proprement dits et aux Vertébrés.

Sans aucun doute, l'embryogénie doit fournir des caractères à la classification, et des caractères d'une très grande importance. Mais la classification vraiment naturelle ne se contente pas de caractères tirés d'une seule chose; elle prend l'ensemble de toutes les particularités, et les rapproche ou fait la somme d'après leur valeur, et conduit alors à classer convenablement les êtres. Peut-être, avant d'admettre cette manière de diviser le règne animal qui se rapproche de celle bien connue du règne végétal, est-il nécessaire de multiplier les observations. Cette *Épicotylédonie*, par exemple, ne mérite-t-elle pas d'être observée sur un plus grand nombre d'espèces que cela n'a été fait, et par conséquent mieux jugée qu'elle ne l'est? Connaissons-nous suffisamment l'embryogénie des Invertébrés en général pour pouvoir assigner les caractères des embryons des grands groupes, peut-être même des groupes secondaires? La science a besoin de bien des travaux encore, et la prudence commande encore de la réserve.

Après avoir étudié les rapports généraux du Dentale, il nous reste à voir dans quel groupe secondaire des Acéphales il peut prendre son rang.

(1) Voyez tome XX des *Mémoires de l'Académie de Belgique* (*Recherches sur l'embryogénie, l'anatomie et la physiologie des Ascidies simples*, par Van Beneden).

La division des Acéphales est diversement limitée par les auteurs : pour les uns, les Acéphales renferment les êtres semblables aux Térébratules, aux Huîtres et aux Ascidies ; de là trois groupes, les Brachiopodes, les Lamellibranches et les Hétérobranches. Le dernier est mieux placé dans les Molluscoïdes ; donc, ce ne pourrait être qu'entre les Brachiopodes et les Lamellibranches qu'il resterait à choisir. Nos connaissances sur les Brachiopodes, malgré les observations de MM. Owen, Gratiolet, Huxley et Hancock (1), laissent encore un peu à désirer ; cependant si l'on ne jugeait que d'après elles, le Dentale n'aurait pas de rapport avec les Brachiopodes ; quant aux Lamellibranches, ils sont déjà suffisamment connus pour pouvoir dire qu'il est également impossible de le placer parmi eux. Il paraît donc nécessaire de considérer le Dentale comme étant un type distinct, qui ne trouve point sa place dans l'une des divisions secondaires précédemment établies. Il est certain que le groupe Acéphale, qui jusqu'ici, pour la plupart des malacologistes, n'a été divisé qu'en deux sections principales : les Lamellibranches et les Brachiopodes, doit présenter un plus grand nombre de types : les Arosoires, pour ne citer qu'un exemple, nous sont peu connus, et mériteraient certainement une étude sérieuse ; peut-être alors se trouverait-on conduit à établir quelques coupes secondaires plus nombreuses

Je propose de prendre la coquille qui est assez différente de toutes celles des autres Acéphales pour désigner la division nouvelle, non pas que je veuille ne prendre qu'un caractère ; mais je tire un nom de cette partie du corps, comme j'aurais pu le tirer de tout autre ; cela n'implique rien de spécial, et j'insiste sur ce fait que je répète encore : La coquille seule ne suffit pas pour caractériser le groupe, elle sert ici à former le nom de l'ordre nouveau.

J'appellerai donc le groupe du nom de Solénoconques (2), indiquant ainsi une différence bien grande avec les autres Bivalves

(1) Voyez *The Annals and Magazine of Natural History*, 1857, 2e série, vol. XX, p. 141.

(2) Étymologie. . . { σωλὴν, tube. . . . / κόγχη, *concha*, coquille. } Coquille en tube.

ou Acéphales, que je propose, pour répondre aux besoins actuels, de diviser en trois ordres :

| | |
|---|---|
| CLASSE DES **ACÉPHALES**. | 1er ORDRE. **Solénoconques.** |
| | 2e ORDRE. **Lamellibranches.** |
| | 3e ORDRE. **Brachiopodes.** |

La première division faisant, à certains égards, comme on l'a vu, la transition entre quelques Gastéropodes et les Acéphales lamellibranches.

Ayant imposé un nouveau nom à la division qui renferme le Dentale, on sent qu'il n'est plus possible, à nos yeux, de conserver celui de *Cirrhibranches*, et cela parce que la détermination des parties, leur sens physiologique n'est plus le même. Les divisions, ordre, sous-ordre et famille des Gastéropodes, établies pour recevoir le Dentale, doivent aussi disparaître.

---

L'espèce de Dentale qui a servi à ces recherches est celle que M. Deshayes a décrite sous le nom de *Dentalium entalis* (1), et correspond à celle que de Lamarck (2) désignait par l'épithète de *tarentinum*.

Les variétés blanches et roses se trouvent également sur les côtes de Bretagne, et je ne vois point la nécessité d'en faire des espèces particulières; c'est aussi l'opinion du savant conchyologiste français M. Deshayes.

---

Dans cette monographie étendue et détaillée, l'on a pu remarquer qu'un même but était toujours poursuivi, que toujours les faits anatomiques et physiologiques étaient rapprochés de l'histoire naturelle proprement dite et de l'histoire zoologique. C'est qu'en

(1) Voyez le travail déjà souvent cité de M. Deshayes, p. 39 : *B*, espèces n'ayant ni côtes, ni stries longitudinales, n° 18.

(2) Voyez Lamarck, *Anim. sans vert.*, t. V, 2e édit., p. 595, n° 13.

effet toutes ces parties de l'histoire d'un être sont inséparables ; toutes elles concourent à une même chose ; toutes elles doivent constamment exister à côté l'une de l'autre, si l'on veut arriver à avoir des notions exactes et complètes. Les détails, les faits, ont sans aucun doute une grande importance, ce sont eux qui nous conduisent à la vérité ; aussi ont-ils été beaucoup multipliés ; mais ils doivent cependant être laissés de côté, à un moment, pour faire place à un ensemble de choses générales qui doivent ressortir des études minutieuses. Jamais la science des animaux ne fera plus de progrès que lorsque l'on aura ainsi fait l'histoire des principaux types ; alors chacune de ses parties ressemblera à un de ces tableaux où l'effet général, où les grandes choses habilement ménagées, se détachent et frappent, quoique on les trouve remplies de détails, dont la présence a concouru à la perfection de l'œuvre.

Mais dans cette voie il y a un danger : c'est l'abondance des détails qui peut faire oublier ou disparaître, en les masquant, les traits généraux les plus importants.

Ai-je réussi à éviter cet écueil ? Je le désire, je l'espère ; aussi c'est en suivant cette marche, c'est en apportant le même esprit dans d'autres travaux, que je me propose de publier quelques monographies sur des Mollusques dont l'histoire a déjà été esquissée, mais non complétée en vue d'un but zoologique.

---

# NOUVELLE COMPARAISON

DES

# MEMBRES PELVIENS ET THORACIQUES

## CHEZ L'HOMME ET CHEZ LES MAMMIFÈRES

## DÉDUITE DE LA TORSION DE L'HUMÉRUS,

**Par Ch. MARTINS,**
**Professeur d'histoire naturelle médicale à la Faculté de médecine de Montpellier.**

« On entend ordinairement par *anatomie comparée*, a dit Condorcet (1) dans son rapport sur un mémoire de Vicq-d'Azyr que nous citerons souvent dans ce travail, l'observation des rapports et des différences qui existent entre les parties analogues des hommes et des animaux, ou plus généralement des différentes espèces d'animaux. M. Vicq-d'Azyr donne ici un essai d'une autre espèce d'anatomie comparée, qui jusqu'ici a été peu cultivée, et sur laquelle on ne trouve dans les anatomistes que quelques observations isolées; c'est l'examen des rapports qu'ont entre elles les différentes parties d'un même individu..... Ainsi, dans cette nouvelle espèce d'anatomie comparée, on observe, dit M. Vicq-d'Azyr, comme dans l'anatomie comparée ordinaire, ces deux caractères que la nature paraît avoir imprimés à tous les êtres, celui de *la constance dans le type et de la variété dans les modifications*. Elle semble avoir formé ces différentes espèces et leurs parties correspondantes sur un même plan, qu'elle sait modifier à l'infini. »

Ce paragraphe m'avait vivement frappé, et dès le commencement de mes études médicales, la comparaison des différentes parties du squelette humain excita ma curiosité : celle des membres supérieurs avec les membres inférieurs me paraissait surtout devoir

(1) *Histoire de l'Académie des sciences pour l'année* 1774 ; p. 12, 1778 ; et *Œuvres de Vicq-d'Azyr*, publiées par Moreau (de la Sarthe), t. IV, p. 313 ; 1803.

être fertile en conséquences pour l'anatomie philosophique ; elle m'occupa pendant quelque temps en 1827, avec mon ami le docteur Ch. Coindet, de Genève ; nous lûmes toutes les explications qui avaient été données, sans qu'aucune d'elles pût nous satisfaire. Je revins sur ce sujet en 1837, lorsque je traduisais les œuvres d'histoire naturelle de Gœthe, et dans une note (1) j'exposai les difficultés du parallèle, et me prononçai en faveur de l'hypothèse de Bourgery et Cruveilhier (2), qui admettent un croisement des os de la jambe, d'après lequel la tête du tibia représenterait celle du cubitus, tandis que son extrémité malléolaire correspondrait à l'extrémité carpienne du radius. Ayant eu l'honneur de présider dernièrement une thèse remarquable présentée à la Faculté de médecine de Montpellier, par M. Paul Gervais, professeur de zoologie à la Faculté des sciences de la même ville (3), mon attention fut ramenée sur ce sujet. Je crois avoir trouvé une explication plus satisfaisante que celles qui ont été données, je la soumets au public compétent ; mais auparavant je dois montrer en quoi les autres me paraissent insuffisantes. Ce sera faire en même temps l'historique d'une question qui a préoccupé tous les auteurs d'anatomie humaine ou comparée.

## I. — HISTORIQUE.

Je ne parlerai pas des analogies qu'Aristote et Galien avaient signalées entre les membres pelviens et thoraciques ; ce sont celles qui frappent tous les yeux ; parmi les modernes, on trouve çà et là des indications plus détaillées et des assimilations moins évidentes ; ainsi, par exemple, Winslow avait parfaitement saisi l'analogie qui existe entre l'olécrane et la rotule. « Je regarde, dit-il (4), la rotule comme une pièce propre et particulière au tibia, qui ne lui appartient pas moins que l'olécrane appartient au cubi-

(1) *OEuvres d'histoire naturelle de Gœthe*, p. 440.

(2) *Anatomie descriptive*, 1re édit., t. I, p. 315.

(3) *Théorie du squelette humain fondée sur la comparaison ostéologique de l'homme et des animaux vertébrés.* (*Thèses de Montpellier*, 1856, n° 64.)

(4) *Exposition anatomique de la structure du corps humain*, nouvelle édition in-12, t. I, p. 285 ; 1775.

tus; elle a en partie les mêmes usages, par rapport au tibia, que l'olécrane par rapport à l'os du bras. L'une et l'autre de ces deux pièces servent à faciliter l'action des muscles extenseurs, en éloignant leur direction du centre du mouvement de l'article. »

Les anciens anatomistes se bornaient, comme Winslow, à des comparaisons partielles et incomplètes.

### Comparaison de Vicq-d'Azyr.

Vicq-d'Azyr est le premier qui ait attaqué résolûment et discuté sérieusement le problème du parallèle des extrémités chez l'homme et chez les animaux (1). Ayant placé le membre supérieur (pl. II, fig. 2) d'un squelette à côté du membre inférieur correspondant (fig. 1), il vit que les deux cols *b b'*, qui portent les têtes articulaires *a a*, étaient dirigés en sens inverse; de là l'idée malheureuse de comparer le membre inférieur droit (fig. 1) au membre supérieur gauche (fig. 3). Dans ce parallèle, les deux cols sont dirigés dans le même sens. Vicq-d'Azyr compare ensuite avec détail le fémur *f* à l'humérus *h*, expliquant par l'adaptation à des fonctions différentes les différences de structure de l'avant-bras et de la jambe; pour lui, le tibia *t* représente le cubitus *c*, le péroné *p*, le radius *r*, la rotule *l*, l'olécrane *o*. Chose singulière! après avoir méconnu l'analogie du radius et du tibia dans l'homme, il l'établit pour les Ruminants, chez lesquels, dit-il (p. 263), « le cubitus est le plus court des os de l'avant-bras, un véritable os styloïde, terminé par une grosse apophyse; le péroné, ajoute-t-il, ressemble exactement à un os styloïde; l'avant-bras et la jambe sont formés par deux os très considérables qui sont le radius et le tibia. »

Vicq-d'Azyr fait ensuite observer que toutes les parties correspondantes sont opposées dans l'extrémité supérieure comparée à l'inférieure : ainsi la paume de la main est tournée en avant, la plante du pied en bas; la rotule est en avant, l'olécrane en arrière; la flexion de la jambe se fait en arrière, celle de l'avant-bras en

(1) *Mémoire sur les rapports qui se trouvent entre les usages et la structure des quatre extrémités dans l'homme et dans les animaux.* (*Mémoires de l'Académie royale des sciences*, année 1778, p. 254, et *Œuvres recueillies par Moreau* (de la Sarthe), t. IV, p. 315; 1805.)

avant. Il remarque avec beaucoup de justesse que la pronation forcée de l'avant-bras rétablit très incomplétement le parallélisme, et conclut, en définitive, que le membre thoracique d'un côté correspond au membre abdominal du côté opposé, c'est-à-dire que le membre thoracique droit est l'analogue du membre pelvien gauche.

Pour montrer que l'explication de Vicq-d'Azyr est inadmissible, détachons sur un squelette un membre supérieur gauche (pl. II, fig. 3), et plaçons-le à côté d'un membre inférieur droit (fig. 1). Voyons quelles sont les parties concordantes et celles qui ne le sont pas.

*Parties concordantes.* — Les deux cols *b b'* et les deux têtes articulaires *a a* du fémur et de l'humérus sont dirigés tous deux dans le même sens ; les condyles *m m* du fémur et la trochlée *m'* de l'humérus sont contournés en arrière ; l'olécrane *o* et la rotule *l* situés tous deux en avant. Le parallélisme des deux os de la jambe et de ceux de l'avant-bras est conservé.

*Parties non concordantes.* — Le tibia *t* correspondant, d'après Vicq-d'Azyr, au cubitus *c*, et le péroné *p* au radius *r*, il en résulte que le petit doigt de la main *i'* est en *dedans* et le pouce *d'* en *dehors*. Or, il est évident pour tout le monde que le pouce *d'* est l'analogue du gros orteil *d* ; le petit orteil *i* celui du petit doigt *i'*. Les doigts et les orteils analogues devraient être semblablement placés ; ils ne le sont pas dans la singulière hypothèse de Vicq-d'Azyr ; elle résout donc une partie des difficultés, les autres subsistent, et personne n'a accepté complétement l'explication de ce célèbre anatomiste. Son mérite n'en est pas amoindri ; le premier, il a abordé le problème, et indiqué d'une main sûre la méthode et les recherches qui devaient conduire à une solution.

Sœmmering consacre un petit paragraphe de son grand *Traité d'anatomie* (1) à montrer aphoristiquement les analogies et les différences des membres inférieurs et supérieurs en général, puis celles du fémur et de l'humérus, du tibia et du péroné, du cubitus et du radius, de la rotule et de l'olécrane ; mais il ne précise rien,

(1) *De corporis humani fabricâ*, t. I, p. 430 ; 1794.

ne discute pas les difficultés, et se borne à signaler des ressemblances matérielles, évidentes et incontestées.

Goethe, dans ses admirables études d'anatomie philosophique, n'a pas comparé directement les membres antérieurs aux membres postérieurs ; toutefois, plusieurs passages montrent qu'il reconnaissait leur analogie. Pour lui, le radius est le représentant du tibia, l'os principal de la jambe ; le péroné et le cubitus ne sont que des os accessoires (1). Ces idées, rédigées par lui en 1795, ne furent publiées qu'en 1817 et 1820.

Meckel (2) compare l'olécrane à la rotule, le cubitus au tibia, le radius au péroné, et fait remarquer que la pronation est l'état normal du membre antérieur dans les animaux, sans dire s'il considère le membre pelvien de l'homme comme un membre thoracique en pronation.

Deux années plus tard, de Blainville (3), dans un parallèle fort court, se borne à établir que le radius est l'analogue du tibia, et que la rotule remplace pour ainsi dire l'olécrane.

En 1824, un anatomiste anglais, le docteur Barclay (4), reconnaît aussi que le tibia est l'analogue du radius, le cubitus celui du péroné, os variable comme lui, tantôt grand, tantôt petit ; en effet, dit-il, quelquefois le péroné fait partie de l'articulation du genou, tandis que le cubitus n'entre pas dans celle du coude, ou bien, comme dans l'homme, le péroné ne s'articule pas avec le fémur, tandis que le cubitus s'articule avec l'humérus.

En 1829, Gerdy aborda cette question, mais sans se préoccuper de ce qui avait été fait avant lui, car il ne mentionne ni le mémoire de Vicq-d'Azyr, ni les indications de Meckel, Blainville,

(1) Voyez ma traduction des *Œuvres d'histoire naturelle de Goethe*, p. 58 et 117 ; 1837.

(2) *Handbuch der menschlichen Anatomie* ; 1816. Traduction de M. Jourdan, sous le titre de *Manuel d'anatomie*, p. 774 ; 1825.

(3) *Nouveau Dictionnaire d'histoire naturelle* de Déterville, article MAMMIFÈRES (Organisation), t. XIX, p. 91 ; 1818. Voyez aussi son *Ostéographie*, *Primates*, t. I, p. 26 ; 1841.

(4) *The Bones of the Human Body represented in a Series of Engravings*, Explication de la planche 24, in-4 ; 1824.

Barclay, etc. Gerdy (1) pose en principe que, dans la comparaison des parties d'un animal, il faut toujours procéder en partant du milieu ou de l'axe du corps, comme si l'on voulait vérifier l'identité des deux moitiés symétriques d'un édifice. Fidèle à cette règle, il fait un parallèle de l'humérus et du fémur, en comparant les faces situées semblablement par rapport à l'axe du corps, à la tête ou à la queue de l'animal. Passant à la seconde section des membres, il retrouve le radius dans le tibia, mais avoue que la tête du tibia ne ressemble nullement à celle de son homologue. Il explique cette différence par la différence des fonctions. Pour Gerdy, le péroné répond au cubitus; il trouve que dans les animaux cet os est l'os capital de l'articulation du coude, et c'est encore par des adaptations fonctionnelles différentes qu'il explique pourquoi la tête du cubitus ne rappelle en rien celle du péroné, qui, dit-il, ne s'articule même pas avec le fémur dans la plupart des Mammifères.

Reconnaissant que la rotule est l'analogue de l'olécrane, Gerdy considère son union au tibia comme une *anomalie*. Dans son parallèle, il « suppose (page 375) l'avant-bras dans sa position naturelle, c'est-à-dire en pronation, comme il est lorsque nous marchons sur nos mains, comme il est dans tous les animaux. » Mais ces comparaisons partielles ne sont point complétées par une synthèse générale, dans laquelle l'auteur montre clairement comment il conçoit la position du membre thoracique assimilé au membre abdominal : en définitive, il ne résout aucune des difficultés qui arrêtaient les anatomistes.

Neuf ans après, Frédéric Blandin (2) revient encore à l'explication de Vicq-d'Azyr, en cherchant à la justifier par des arguments nouveaux ; il s'efforce de prouver que le tibia représente le cubitus : 1° parce que sa tête s'articule avec le fémur, comme celle du cubitus avec l'humérus ; 2° parce que le cubitus correspond en bas au pyramidal, analogue, suivant lui, de l'astragale ; 3° parce que le triceps crural s'insère à la rotule, comme le triceps brachial se

(1) *Note sur le parallèle des os.* (*Bulletin universel de Férussac, Sciences médicales*, t. XVI, p. 369 ; 1829.)

(2) *Nouveaux éléments d'anatomie descriptive*, t. I, p. 202 ; 1838.

fixe sur le cubitus; le fléchisseur commun des doigts au même os, comme le fléchisseur commun des orteils sur le tibia. Ayant prouvé que le cubitus est l'analogue du tibia, Blandin trouve inutile de démontrer que le radius représente le péroné; toutefois il fait remarquer que le biceps brachial s'insère au radius, comme le biceps crural au péroné; le long fléchisseur du pouce au radius, comme le long fléchisseur du gros orteil au péroné. Avec Gerdy, il explique les différences de deux membres par des adaptations fonctionnelles différentes.

### Comparaison de Bourgery et de Cruveilhier.

Il était réservé à Bourgery, qui a élevé en France un véritable monument à l'anatomie de l'homme, de faire faire un pas à la question. Dans son ouvrage (1), il se livre à un parallèle détaillé des membres, s'appuyant principalement sur les fonctions qu'ils remplissent. Il remarque très judicieusement que la face postérieure de l'humérus correspond à la face antérieure du fémur ; mais comme Vicq-d'Azyr, il compare (page 133) l'humérus d'un côté au fémur de l'autre. Le premier, il a reconnu que les caractères du cubitus dominent dans les articulations fémorale du tibia et tarsienne du péroné; tandis que l'extrémité supérieure de celui-ci rappelle la tête du radius. D'un autre côté, il constate, comme tous les auteurs, la ressemblance frappante qui existe entre les extrémités carpienne du radius et tarsienne du tibia. Quoiqu'il ne se prononce pas catégoriquement, il est évident, par la manière dont il s'exprime page 135, dans son parallèle de la main avec le pied, qu'il suppose l'avant-bras dans la pronation, quand il le compare avec la jambe. Bourgery n'a point coordonné les différents éléments du problème, ses assimilations sont pleines de contradictions; mais il a le premier clairement signalé les caractères cubitaux de la tête fémorale du tibia et les caractères radiaux de son extrémité tarsienne. Le premier aussi, il a montré que, si l'extrémité supérieure du péroné a peu d'analogie avec la cupule du radius, la malléole externe de la jambe correspond, au contraire, exactement à l'apophyse styloïde du cubitus.

(1) *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, t. I, p. 133; 1832.

J'ai dit que le parallèle de Bourgery n'était point coordonné : en effet, il compare d'abord l'humérus d'un côté au fémur de l'autre, afin que les axes des deux cols soient dirigés de même : c'est l'idée de Vicq-d'Azyr. Puis, oubliant son point de départ, il suppose l'avant-bras en pronation, ce qui retournerait la paume de la main *en haut*, tandis que la plante du pied appuie sur le sol. En outre, dans cette position, le radius et le cubitus se croisent; or, le tibia et le péroné sont parallèles entre eux. Enfin, il est contraire à toutes les lois des coalescences, en anatomie, de supposer un os long formé par la soudure, bout à bout, des deux moitiés de deux os différents.

Dans son *Anatomie descriptive* (1), M. Cruveilhier compare avec beaucoup de soin le fémur à l'humérus. Passant à l'examen de l'avant-bras, il conclut :

1° Qu'aucun os de la jambe ne représente à lui seul un os de l'avant-bras :

2° Que dans chacun des os de la jambe, on trouve des caractères qui appartiennent les uns au cubitus, les autres au radius;

3° Que la position naturelle de l'avant-bras étant la pronation et que la jambe étant dans une pronation permanente, on ne doit pas comparer l'avant-bras, dans la supination, à la jambe, qui est dans une position opposée. C'est, comme on le voit, l'hypothèse de Bourgery, formulée par un esprit net et positif; aussi la plupart des auteurs attribuent-ils cette explication à M. Cruveilhier, en la désignant sous le nom d'*hypothèse du croisement;* mais l'équité scientifique m'oblige à dire qu'elle a d'abord été émise en 1832 par Bourgery.

Malgré l'autorité de Buffon, de Vicq-d'Azyr, de Condorcet et de Gœthe, le grand génie de Cuvier, obscurci par la doctrine des causes finales, admettait à peine la légitimité des comparaisons du genre de celle qui fait l'objet de ce mémoire. Les différences le frappaient beaucoup plus que les ressemblances, qui, dit-il (2), « sont également déterminées non par la loi de répétition, mais par la grande et universelle loi des concordances physiologiques et de

(1) Deuxième édition, t. I, p. 339; 1843.

(2) *Leçons d'anatomie comparée*, 2e édit., t. I, p. 343; 1835.

la convenance des moyens avec le but. » Son antagonisme contre E. Geoffroy Saint-Hilaire lui faisait ainsi repousser systématiquement une branche de l'anatomie, à laquelle son adversaire, précédé par Oken et suivi par Carus et Dugès, avait fait faire des progrès qui ne permettaient plus de nier son existence.

Le dernier auteur qui ait comparé dans ce système le membre supérieur au membre inférieur de l'homme est M. Auzias Turenne (1); il pose avec raison en principe que ce genre de comparaison doit reposer sur les analogies organiques et non pas sur des adaptations fonctionnelles; puis il reproduit sous une autre forme les explications de Vicq-d'Azyr et de Bourgery. Il place un membre thoracique *gauche* (pl. II, fig. 3) à côté d'un membre abdominal *droit* (fig. 1). Il en résulte que les têtes articulaires de l'humérus et du fémur sont dirigées du même côté, et que la face postérieure ou tricipitale de l'humérus est en avant, comme la face antérieure ou tricipitale du fémur. L'olécrane *o* se trouve également en avant, comme la rotule *l*. Ensuite l'auteur substitue le tiers inférieur et la main de l'avant-bras *droit* (fig. 2) au tiers inférieur du membre supérieur *gauche*, qu'il considérait auparavant. La conséquence de cette substitution, c'est que la moitié carpienne du cubitus droit fait suite à la moitié humérale du radius gauche, et correspond au tiers inférieur du péroné; la partie inférieure du radius droit fait également suite à la partie supérieure du cubitus gauche, et devient ainsi l'analogue du tiers inférieur du tibia. Le remplacement de la main gauche par la main droite a également pour effet de mettre le pouce en dedans, comme le gros orteil; et le petit doigt en dehors, comme le petit orteil. C'est, on le voit, l'hypothèse de Vicq-d'Azyr combinée avec celle du croisement, reproduite sous une autre forme, mais passible néanmoins des difficultés que nous avons signalées.

Nous touchons à une nouvelle phase de la question. L'explication de Vicq-d'Azyr ni celle du croisement n'entraînent l'assentiment unanime des savants; elles laissent dans leur esprit des

(1) *Sur les analogies des membres supérieurs avec les inférieurs.* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XXIII, p. 1148; 28 décembre 1846.)

doutes que les progrès de la science augmentent au lieu de les diminuer.

### Comparaison de M. Flourens.

En 1838, ce physiologiste célèbre établit le parallèle suivant (1) : le membre supérieure d'un côté (pl. II, fig. 4) est comparé au membre inférieur du même côté (fig. 1), et l'avant-bras est en *pronation*. En analysant cette hypothèse, voici les concordances et les discordances qu'elle présente :

*Concordances.* — Le col de l'humérus *b'* et celui du fémur *b* sont dirigés tous deux vers la colonne vertébrale; la main est placée comme le pied, savoir : le gros orteil *d* et le pouce *d* en dedans; le petit doigt *i'* et le petit orteil *i* l'un et l'autre en dehors.

*Discordances.* — La trochlée *m'* de l'humérus (fig. 4) est tournée en avant, tandis que les condyles *m m* du fémur (fig. 1) sont tournés en arrière; l'olécrane reste également en arrière, tandis que la rotule *l* est en avant. L'avant-bras se fléchit donc en avant, tandis que la jambe se fléchit en arrière. Les deux os de l'avant-bras *c* et *r* sont *croisés*, de façon que l'extrémité supérieure ou humérale du radius *r* est en dehors, et son extrémité inférieure ou carpienne en dedans. Les zoologistes qui adoptent cette explication comparent involontairement non pas le membre thoracique de l'homme à son membre pelvien, mais le membre thoracique de l'homme au membre thoracique des Quadrupèdes, où l'avant-bras est en effet dans une pronation fixe et permanente; aussi sommes-nous conduit par la logique des faits à rejetter ce parallèle, malgré l'autorité du nom de celui qui l'a proposé.

Dans un discours sur la nature des membres prononcé par le professeur R. Owen (2), ce savant zoologiste s'occupe des affinités de leurs os avec ceux du squelette en général et des côtes en particulier ; il n'insiste pas sur la comparaison des extrémités postérieures avec les antérieures, et se borne à un exposé histo-

(1) *Nouvelles observations sur le parallèle des extrémités dans l'homme et les quadrupèdes.* (*Annales des sciences naturelles*, t. X, p. 35, 1838 : et *Mémoires d'anatomie et de physiologie comparées*, p. 94 : 1844.)

(2) *On the Nature of Limbs, a discourse delivered at an Evening Meeting of the Royal Institution of Great Britain ;* 1849.

rique de la question. Toutefois il prouve que, dans quelques Marsupiaux, le péroné, surmonté de sa rotule, représente le cubitus tout entier; mais il n'en conclut pas à la coalescence des parties supérieures du radius et du cubitus pour former le chapiteau tibial des Mammifères monadelphes; nous essayerons plus loin de démontrer la réalité de cette fusion.

Une courte note (1) de M. Ph. Rigaud, professeur à la Faculté de médecine de Strasbourg, est consacrée à établir que, dans ce genre de comparaison, il faut procéder de la périphérie au centre, et suivre l'ordre d'évolution organogénésique, parce que les parties analogues, formées les premières, éprouvant moins d'évolutions successives, sont les plus simples, et partant les plus parfaitement identiques.

MM. Joly et Lavocat (2) se rangent à la théorie de la pronation, telle qu'elle a été établie par Gerdy et Flourens.

Enfin un médecin vétérinaire, M. Chauveau, dans un traité récent (3), compare, comme Vicq-d'Azyr, le membre supérieur gauche à l'inférieur droit.

En résumé, les parallèles des extrémités supérieures et inférieures de l'homme se réduisent à trois :

1° L'hypothèse de Vicq-d'Azyr, qui compare le membre supérieur d'un côté au membre inférieur du côté opposé (pl. II, fig. 1 et 3).

2° Le parallèle détaillé de Bourgery, qui combine l'hypothèse de Vicq-d'Azyr avec un croisement, en vertu duquel la tête du tibia représenterait le cubitus, sa moitié inférieure le radius, tandis que l'extrémité fémorale du péroné correspondrait au radius, son extrémité tarsienne au cubitus.

3° L'explication de M. Flourens, où le membre pelvien est assimilé au membre thoracique correspondant, l'avant-bras étant en pronation (fig. 1 et 4).

(1) *Sur l'homologie des membres supérieurs et inférieurs de l'homme.* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XXIX, p. 630; 26 novembre 1849.)

(2) *Études d'anatomie philosophique sur le pied et la main de l'homme.* (*Mémoires de l'Académie de Toulouse*; 1853.)

(3) *Traité d'anatomie comparée des animaux domestiques*, p. 113. 1857.

Nous avons vu que chacune de ces comparaisons est sujette à des objections sérieuses, et que, jusque dans ces derniers temps, les anatomistes hésitent entre elles, sans pouvoir tomber d'accord sur le point le plus essentiel, savoir : l'identification des deux os de la jambe avec les deux os de l'avant-bras.

## II. COMPARAISON DE L'AUTEUR.

### I. — Comparaison du fémur avec l'humérus.

#### De la torsion de l'humérus.

L'humérus de l'homme est un os tordu sur son axe de 180 degrés. Le fémur est un os droit, sans torsion. L'humérus étant un fémur tordu, si l'on veut comparer ces deux os, il faut avant tout *détordre* l'humérus; le résultat de cette opération est de placer l'épitrochlée (pl. II, fig. 5) *e* en dehors et l'épicondyle *f* en dedans. Cela fait, la comparaison des extrémités pelvienne et thoracique n'offre plus aucune difficulté; en effet, le col de l'humérus *b'* reste immobile, et dirigé en dedans comme celui du fémur. Les corps des deux os ont leurs arêtes parallèles à leur axe; la partie convexe ou tricipitale de l'os du bras se trouve en avant, comme la partie antérieure, convexe ou tricipitale de l'os fémoral. Les deux os sont donc semblables; leurs condyles articulaires se contournent en arrière; le bord interne, devenu externe de la trochlée, plus saillant que l'autre, correspond au condyle péronéal du fémur, qui l'est également davantage; l'olécrane *o* est en avant comme la rotule *l;* de plus, elle est attachée à la portion antérieure et externe de la tête du tibia, qui représente, comme je le prouverai plus bas, les têtes soudées et confondues du cubitus et du radius.

Pour la jambe et l'avant-bras, les difficultés me semblent également résolues; le membre étant en supination, la détorsion de l'humérus a fait exécuter à l'avant-bras un mouvement de rotation d'une demi-circonférence, qui a eu pour effet de porter le plan de la jambe correspondant à la flexion, en avant; celui correspondant à l'extension, en arrière; par conséquent, le radius *r* (fig. 5), analogue du tibia *t* (fig. 1), se trouvera en dedans; le cubitus *c*, ana-

logue du péroné *p*, en dehors. Le pouce *d'* et le gros orteil *d* seront tous deux en dedans, le petit doigt et le petit orteil en dehors (1).

Il me reste à démontrer la vérité de mes assertions et la légitimité des conséquences que j'en ai tirées.

*Évidence de la torsion de l'humérus.* — Pour s'en convaincre, il suffit de suivre sur un humérus d'homme ou de Quadrupède quelconque, la ligne âpre qui part de l'épicondyle (pl. III, fig. 1) *c*, se dirige obliquement vers la face postérieure, la contourne en

(1) J'ose engager les anatomistes à lire ce parallèle avec un squelette sous les yeux. On compare les membres du même côté, et la face postérieure du membre thoracique à la face antérieure du membre pelvien. Il suffit de se rappeler que dans le parallèle ainsi établi *sans détordre* l'humérus, la tête de cet os est tournée en sens opposée de celle du fémur. Si on veut réaliser grossièrement la détorsion, on scie l'humérus à son tiers supérieur, on fixe dans le canal médullaire du fragment inférieur un morceau de bois cylindrique, qu'on enfonce dans le canal médullaire du fragment supérieur : on fait alors exécuter au fragment inférieur un mouvement de rotation de 180 degrés qui tourne l'épitrochlée en dehors, l'épicondyle en dedans : l'analogie du membre thoracique et du membre abdominal est alors complète.

Mais on peut réaliser la détorsion d'une manière beaucoup plus parfaite. Pour cela on plonge verticalement un humérus dans un vase cylindrique, qu'on remplit d'eau aiguisée d'un sixième environ d'acide hydrochlorique. Le liquide doit affleurer au col de l'os ; la tête ne plongera pas dans le mélange. Pour préserver la trochlée de l'action trop énergique de l'acide, on l'enduit de cire, de caoutchouc fondu ou d'une solution de gutta-percha dans la benzine ; suivant l'âge de l'os et la quantité d'acide employée, on le laissera séjourner de six à dix jours dans le liquide : alors il sera suffisamment dépouillé de phosphate calcaire pour qu'on puisse le détordre. On le fait en fixant la tête humérale avec la main gauche, puis portant l'épitrochlée d'abord en bas, ensuite en dehors, jusqu'à ce que l'épicondyle soit directement au-dessus du col de l'os. L'os est alors détordu (voyez l'humérus *h*, pl. II, fig. 5). On se tromperait toutefois si l'on s'attendait à voir tous les bords, les faces et les insertions musculaires former des lignes droites parallèles. La torsion de l'humérus n'étant pas le résultat d'une action *mécanique* sur un os originairement droit et à lignes parallèles à l'axe, comme le fémur, il ne saurait en être ainsi. Le corps de l'humérus est *originairement* tordu ; en le détordant, nous ne faisons que rétablir sa ressemblance extérieure avec le fémur, dont il est le représentant thoracique. Ce fait prouve même que le membre pelvien est le membre type, le membre thoracique une répétition dans laquelle la torsion de l'humérus joue le rôle principal, car elle change le sens de la flexion, qui devient antérieure de postérieure qu'elle était dans le membre abdominal.

longeant la gouttière de torsion du nerf radial, se continue avec la surface d'insertion de la portion interne du triceps, et vient aboutir en *b* à la partie la plus marquée du col, au-dessous de la tête de l'humérus, point situé à l'autre extrémité du diamètre transversal de l'os. La torsion est donc de 180 degrés ou d'une demi-circonférence. Cette torsion a été remarquée par la plupart des anthropotomistes (1).

Sabatier et Boyer sont les plus explicites à cet égard. « Le corps de l'humérus, dit le premier, n'a plus rien de remarquable qu'une dépression oblique qui descend de dedans en dehors, et qui paraît comme le résultat de la torsion qu'il aurait soufferte, si, pendant qu'il était encore mou, quelqu'un avait tâché de porter sa tête en dedans et son extrémité inférieure en dehors. » Boyer se sert des mêmes expressions. Les zootomistes, au contraire, n'en ont pas été frappés, quoiqu'elle soit plus marquée dans beaucoup d'animaux que dans l'homme; car ni Meckel, ni Cuvier, ni Carus, ni de Blainville, ni Owen, ne la mentionnent, soit dans leurs considérations générales sur l'humérus, soit dans la description de l'os du bras des différentes classes de Vertébrés. Les anthropotomistes

(1) Bertin, *Traité d'ostéologie*, t. II, p. 283; 1754. — Lecat, *Cours abrégé d'ostéologie*, p. 135; 1768. — Winslow, *Exposition anatomique de la structure du corps humain*, t. I, p. 207; 1775. — Sabatier, *Traité d'anatomie* (1774), 2e édit., t. I, p 175; 1791. — Sœmmerring, *De corporis humani fabricâ*, t. I, p. 319; 1794. — Bichat, *Anatomie descriptive* (1801), nouvelle édition, t. I, p. 287; 1823 — Boyer, *Traité d'anatomie*, 2e édit., t. I, p. 303; 1803. — Barclay, *The Anatomy of the Bones of the Human Body represented in a Series of Engravings*, 1824, explication de la planche 19, lettre *D*. — Meckel, *Manuel d'anatomie* (1816), traduit par Jourdan et Breschet, t. I, p. 708; 1825. — J. Cloquet, *Manuel d'anatomie descriptive*, texte, p. 78; 1825. — H. Cloquet, *Traité d'anatomie descriptive*, t. I, p. 199; 1828. — Lauth, *Nouveau manuel de l'anatomiste*, p. 54; 1829. — Blandin, *Nouveaux éléments d'anatomie descriptive*, t. I, p. 153; 1838. — O. Ward, *Outlines of Human Osteology*, p. 292; 1838. — Estor, *Cours d'anatomie médicale*, t. I, p. 648; 1840. — Cruveilhier, *Traité d'anatomie descriptive*, 2e édit., t. I, p. 245; 1843. — Holmes Coote, *The Homologies of the Human Skeleton*, p. 87; 1849. — Jamain, *Nouveau traité élémentaire d'anatomie descriptive*, p. 70; 1853. — Sappey, *Traité d'anatomie descriptive*, t. I, p. 79; 1853. — Henle, *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen*, t. I, p. 219; 1855.

qui avaient constaté le fait (1) n'en ont pas tiré les conséquences qui en résultent. Il n'est pas étonnant qu'elles aient été aperçues par un botaniste. La torsion est un phénomène très commun dans les tiges des végétaux ; il faut sans cesse en tenir compte, parce qu'elle dérange la position symétrique des organes appendiculaires, tels que les bourgeons, les feuilles, les fleurs, etc.

La torsion de l'humérus étant un fait incontestable, il est clair qu'on ne pouvait comparer logiquement cet os avec le fémur dont il est la répétition thoracique, sans le détordre et en faire un os droit comme celui de la cuisse ; car c'est la torsion qui transforme le sens de la flexion, puisque l'avant-bras se fléchit en avant, tandis que la jambe se fléchit en arrière.

M. Holmes Coote (2) est, à ma connaissance, le seul anatomiste qui ait vu cette conséquence de la torsion : « The *os humeri*, dit-» il, when viewed in its totality, appears twisted upon itself; » the flat distal extremity being curved forwards, whilst the » inwardly directed head maintains its normal connection with the » shaft. The hand therefore is supine instead of prone, as is the case » with the foot; the *pronator radii teres* muscle is said to arise » from the inner and not from the outer condyle as does its homo-» type in the leg, the *popliteus*, etc. » M. Maclise, dans son article *Skeleton* (3), a compris toute l'importance de la vue de M. Holmes-Coote pour la comparaison des membres pelviens et thoraciques. Les travaux des deux anatomistes anglais m'étaient inconnus lorsque je rédigeais mon travail, et je suis heureux de me rencontrer avec eux. Mais tous deux se sont arrêtés à cette remarque fondamentale ; ils n'ont point songé à mesurer l'angle de torsion de

(1) M. Lavocat nie seul formellement la torsion de l'humérus ; suivant lui elle n'est qu'apparente, et n'a d'autre argument en sa faveur que la situation opposée de la rotule et de l'olécrane qu'il explique par la loi de destination. Je ne m'attacherai pas à réfuter le savant zootomiste de Toulouse, ce travail tout entier ayant pour but de montrer la réalité et les conséquences de la torsion humérale. (Voyez les *Considérations d'anatomie philosophique* de cet auteur *sur la torsion; de l'humérus Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XXXIX, p. 29 ; 3 juillet 1854.

(2) *The Homologies of the Human Skeleton*, p. 87 ; 1849.

(3) Todds, *Cyclopædia of Anatomy and Physiology*, t. IV, 665-682.

l'humérus dans les différentes classes des Vertébrés, à apprécier les différences qui en résultent dans le mode de locomotion des animaux anthropomorphes, des Quadrupèdes, des Chéiroptères, des Oiseaux et des Reptiles, à établir sa virtualité, ni à en déduire toutes les conséquences qui en découlent pour les systèmes musculaire, artériel et nerveux des membres comparés entre eux.

La torsion n'est point une disposition particulière à l'humérus humain ; elle est générale dans les premières divisions des animaux vertébrés, Mammifères, Oiseaux et Reptiles vivants ou fossiles; elle est de 180 degrés dans l'homme et les Mammifères terrestres ou aquatiques; de 90 degrés dans les Chéiroptères, les Oiseaux et les Reptiles.

*De la torsion de l'humérus dans l'homme et les Mammifères terrestres ou aquatiques* (1). — Elle est toujours de 180 degrés; mais les rapports des axes du col et de la trochlée ne sont pas les mêmes dans toute la série. Il y a deux modifications.

Chez l'homme et les Singes anthropomorphes, tels que l'Orang, le Chimpanzé, le Troglodyte-Tschego, le Gorille et les Gibbons, les axes du col du fémur et de l'humérus (pl. III, fig. 1) *ax* sont parallèles et dirigés tous deux vers la colonne vertébrale, savoir de *dehors en dedans* et de bas en haut. L'un et l'autre, ainsi que les axes du corps des deux os, sont dans un même plan sensiblement vertical et *perpendiculaire* au plan vertébro-sternal ou de symétrie bilatérale. Cette direction des axes est la condition mécanique des mouvements de circumduction du bras et de la cuisse qui décrivent un cône autour de cet axe idéal.

(1) Cette torsion est peu visible sur les os longs et grêles des Quadrumanes essentiellement grimpeurs, mais très marquée chez l'Orang, le Chimpanzé, le Troglodyte-Tschego, le Gorille, les Papions, les Cynocéphales, les Ours, les Chiens, les Chats, les Loutres, les Hérissons, les Écureuils, les Marmottes, les Castors, le Chameau, le Bœuf, le Cheval, l'Éléphant, les Sarigues et les Kangourous : parfaitement visible sur les humérus des Phoques, des Morses, des Lamantins et des Dugongs, elle ne l'est plus sur les os aplatis des Narvals, des Baleines, des Hypérodons et des Dauphins. Dans tous ces animaux, le cubitus étant articulé derrière le radius, les deux os sont situés dans un plan parallèle au plan vertébro-sternal.

Dans ce groupe d'animaux et dans l'homme, l'axe de la trochlée humérale *by* est également parallèle au plan comprenant l'axe du col et celui du corps de l'os; aussi, lorsque l'animal est debout sur ses pieds, on peut dire physiquement que les axes du col de l'humérus, du corps de cet os, de la trochlée, et ceux du col du fémur, de l'axe de cet os et de ses condyles, sont sensiblement dans un seul et même plan vertical, perpendiculaire au plan de symétrie bilatérale.

Dans les Quadrupèdes terrestres et amphibies, l'axe du col du fémur est dirigé comme chez l'homme, et le plan comprenant l'axe de l'os et celui du col fémoral est également perpendiculaire au plan de symétrie bilatérale. Mais il n'en est pas de même au membre antérieur : l'axe du col de l'humérus est dirigé d'*avant en arrière* et de bas en haut (1); cet axe et celui du corps de l'humérus sont dans un même plan *parallèle* au plan vertébro-sternal. Il en résulte que le plan comprenant l'axe de l'os et celui du col *ax* (pl. II, fig. 6 et 7), est *perpendiculaire* à l'axe de la trochlée, qui serait figuré par une ligne normale au plan du papier et passant par le point *t* (fig. 6 et 7), tandis que chez l'homme ces trois axes sont dans le même plan. Si nous prenons pour point de comparaison la direction de l'axe du col du fémur qui est la même dans tous les animaux, nous pouvons admettre que, dans l'homme et les Singes supérieurs, la tête de l'humérus ne participe pas à la torsion du corps de cet os. Au contraire, dans les Singes inférieurs et les Quadrupèdes, l'extrémité inférieure de l'humérus accomplit aussi une révolution de 180 degrés, et la supérieure, au lieu de rester fixe, comme chez l'homme, est elle-même tordue de 90 degrés ou d'un angle droit. Ce qui le prouve, c'est le déplacement relatif des tubérosités qui bordent la gouttière bicipitale. La tubérosité externe chez l'homme (pl. III, fig. 1) *e* devient antérieure dans les Quadrupèdes (pl. II, fig. 6 et 7) *e* : l'interne de l'homme (pl. III, fig. 1) *i* devient postérieure (pl. II, fig. 6 et 7) *i*, ce qui suppose une torsion de 90 degrés. On le voit de la manière la plus claire sur les squelettes bien articulés des grands Carnassiers. La consé-

(1) Voyez pl. II, fig. 6 et 7, l'axe *ax*, sur des humérus de Phoque et de Chien.

quence de ces dispositions, c'est que dans les Quadrupèdes le membre antérieur se meut dans un plan, et n'exécute plus que très imparfaitement les mouvements de circumduction qui caractérisent l'homme et les Singes anthropomorphes.

*De la torsion de l'humérus dans les Chéiroptères, les Oiseaux et les Reptiles.* — Elle est de 90 degrés seulement; les axes du col du fémur et de l'humérus sont dirigés comme chez l'homme, c'est-à-dire que l'axe du corps de l'os et celui du col sont dans un même plan *perpendiculaire* au plan de symétrie bilatérale. Mais le corps de l'humérus n'étant tordu que de 90 degrés, la trochlée est tournée en dehors. Dans ces animaux, le plan comprenant l'axe de l'os et celui du col (pl. II, fig. 8 et 9) *ax* est donc perpendiculaire à l'axe de la trochlée humérale inséré au point *t*; aussi la flexion de l'avant-bras sur le bras se fait-elle *en dehors* dans un plan perpendiculaire au plan vertébro-sternal. Une Chauve-souris, un Oiseau déploient leurs ailes en dehors, un Reptile étend son avant-bras perpendiculairement à l'axe de son corps. La torsion de 90 degrés est donc une des conditions ostéologiques du vol et de la reptation (1).

Dans les Chéiroptères, c'est sur les grandes Roussettes, telles que *Pteropus vulgaris* Ét. Geoff., *P. Edwardsii* Geoff., *P. Keraudrenii* Quoy, *P. poliocephalus* Temm., et le Galéopithèque volant, qu'il faut étudier la torsion de l'humérus; on reconnaît : 1° que l'axe du col est dirigé comme chez l'homme; 2° que les tubérosités sont placées l'externe en dehors, l'interne en dedans; 3° que l'axe de la trochlée est perpendiculaire au plan qui comprend l'axe du col, et celui du corps de l'os.

Dans les Oiseaux, la torsion de 90 degrés se voit le mieux sur

(1) En comparant les figures pl. II, 6 et 7, représentant des humérus de Phoque et de Chien, aux figures 8 et 9, représentant des humérus d'Aigle et de Caïman, il ne faut pas se laisser induire en erreur par leur ressemblance. Dans toutes, l'axe du col et celui de l'os étant dans un plan perpendiculaire à l'axe de la throchlée, il semble que la torsion soit la même dans ces quatre os. Lorsqu'ils sont attachés au squelette, on reconnaît qu'elle est de 180 degrés dans les deux premiers, d'où flexion du membre en avant, et seulement de 90 degrés dans les deux derniers (fig. 8 et 9), d'où flexion du membre en dehors.

les humérus des grands Rapaces, tels que les Condors, les Aigles (pl. II, fig. 9), les Albatros et sur les grands Gallinacés.

Dans les Reptiles, je citerai les Crocodiles, les Caïmans (fig. 8), les Varans (*Varanus*), les Grammatophores, les Fouette-queue (*Stellio*), les Dragons volants, la Sauve-garde (*Salvator Merianæ* Bibr.), l'Ameiva (*Ameiva vulgaris* Licht.), le Lézard ocellé, le *Plestiodon Aldrovandi* Bib., les *Cyclodus* et les grands Sauriens en général. Sur le Caméléon, au contraire, l'humérus est tordu de 180 degrés; car le Caméléon est un Reptile qui ne rampe pas (1); il marche comme un Quadrumane, en fléchissant son avant-bras en avant. Son ventre ni sa queue ne traînent sur le sol. Quand il grimpe, ce n'est point à la manière des Lézards ou des Stellions, qui s'accrochent avec leurs griffes, mais à la manière des Singes d'Amérique : comme eux, il saisit les branches avec ses quatre mains et enroule sa queue prenante autour des objets qui lui servent de support.

Dans les Chéloniens, la torsion n'est visible que sur les Tortues terrestres et fluviales, telles que *Testudo græca* L., *Emys concentrica* Gray, *Emysaurus serpentinus* Bib., *Testudo europæa* Gray. Les humérus plats des Tortues marines n'en offrent pas plus de trace que ceux des Cétacés. Chez les Batraciens, la torsion est moins marquée que dans les Sauriens, à cause de l'exiguïté de leurs os; cependant je l'ai constatée sur les Crapauds, *Bufo vulgaris* Laur., *Pelobates cultripes* Tschudi, *Alites obstetricans* Wagl.; sur les Grenouilles, *Rana temporaria* L. et *R. esculenta* Daud (2).

(1) Voyez ma note sur la torsion de l'humérus. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, t. XLIV, p. 246 ; 9 février 1857.)

(2) Presque tous les squelettes des Reptiles, même ceux où l'on a conservé les ligaments naturels, sont montés comme ceux des Quadrupèdes, le genou fléchi en avant, le coude en arrière et les membres ramassés sous l'animal. On agit ainsi pour pouvoir rétrécir la planche sur laquelle il est fixé et gagner de la place; mais on fausse l'allure du Reptile, on lui donne celle d'un Mammifère terrestre. L'humérus d'un Reptile doit être articulé comme celui d'un Oiseau, l'axe du col dirigé en dedans et en haut, la trochlée contournée en dehors. Le fémur sera parallèle à l'humérus, le genou et le coude se fléchiront en dehors. La reptation, c'est-à-dire le fait que l'abdomen traîne sur le sol, est une conséquence de ces dispositions.

Cette torsion de l'humérus de 90 degrés, commune aux Reptiles et aux Oiseaux, est un trait de plus à ajouter aux nombreuses ressemblances organiques qui rapprochent ces deux classes d'animaux.

Si, dans la série des Vertébrés, on compare la direction de l'axe des condyles du *fémur* à celle de l'axe de la trochlée *humérale*, on trouve que ces axes sont parallèles entre eux dans les Chéiroptères et dans les Reptiles, perpendiculaires dans les Oiseaux : en effet, une Chauve-souris et un Reptile fléchissent leur genou non pas en avant, mais *en dehors*, de façon que la flexion de l'avant-bras et celle de la jambe se font dans deux plans parallèles entre eux et perpendiculaires au plan de symétrie. Il n'en est pas de même chez les Oiseaux : l'axe des condyles du fémur est aussi perpendiculaire au plan vertébro-sternal, mais l'axe de l'épitrochlée est parallèle à ce plan, d'où flexion de la jambe *en arrière* et de l'aile en dehors.

En résumé, l'inspection seule de l'épaule et de l'humérus d'un animal pourra désormais décider les points les plus importants de son mode de locomotion, et servir à marquer sa place dans l'embranchement des Vertébrés. Si l'axe de la trochlée humérale est *parallèle* au plan comprenant l'axe de l'os et celui du col, ou, en d'autres termes, si ces trois axes sont sensiblement dans le même plan, le bras peut exécuter des mouvements de circumduction et l'animal appartient au groupe anthropomorphe ; mais si l'axe de la trochlée est *perpendiculaire* au plan commun de l'axe du col et du corps de l'os, et en même temps à celui de l'omoplate, l'animal est un Mammifère terrestre ou aquatique. Si enfin l'axe de la trochlée, étant toujours *perpendiculaire* au plan commun de l'axe du col et du corps de l'os, est au contraire sensiblement *parallèle* à celui de l'omoplate, l'animal vole ou rampe ; c'est un Chéiroptère, un Oiseau ou un Reptile.

La nature, comme on le voit, a procédé géométriquement, chaque fois qu'elle a fait varier le plan dans lequel se meuvent les membres des animaux. Ces changements, liés à ceux des axes de rotation, sont toujours d'un ou de deux angles droits seulement. Toutefois, si à la rotation fixe de 180 degrés, due à la torsion de

l'humérus, nous ajoutons les 180 degrés que le pouce décrit dans le mouvement de pronation de l'avant-bras, nous trouvons que, dans la transformation organique du membre postérieur en membre antérieur, l'apophyse styloïde du radius a décrit une circonférence tout entière. Voilà pourquoi, l'avant-bras étant en pronation, la main se trouve replacée dans la même position que le pied.

### Difficulté métaphysique.

Je dois aborder maintenant une question d'autant plus délicate qu'elle est du domaine de la métaphysique et touche aux lois les plus intimes du développement des êtres organisés. Quand on examine des squelettes de fœtus depuis deux mois jusqu'à neuf, le corps de l'humérus se présente sous la forme d'une palette aplatie et identique, sauf la grandeur, à celle du fémur. On n'y remarque pas la plus légère trace de torsion. Cette torsion n'est même visible que sur un enfant d'un an, et ce n'est qu'à deux ans qu'elle est parfaitement caractérisée. Cependant, du jour où les membres se montrent sur le fœtus, *la torsion existe*, puisque la flexion de l'avant-bras se fait en avant. La torsion de l'humérus n'est donc point une torsion mécanique qui s'opère à une certaine époque de la vie, c'est une torsion *virtuelle* qui ne s'est jamais opérée mécaniquement; mais cette torsion virtuelle a eu toutes les conséquences d'une torsion réelle. Tout, dans le bras, est disposé comme si elle s'était physiquement effectuée : les muscles, les artères, les nerfs, ont suivi le mouvement de rotation de l'extrémité cubitale de l'humérus. Les autres dissemblances entre le bras et la cuisse, et même entre le membre thoracique et le membre pelvien, sont de simples conséquences de cette torsion ; et si l'on me demandait quelle est la différence capitale entre le bras et la cuisse, je n'hésiterais pas à répondre : c'est que l'humérus est tordu et que le fémur ne l'est pas. J'ose espérer que le lecteur partagera cette conviction s'il achève la lecture de ce Mémoire; car je démontrerai que la disposition de toutes les parties molles du membre thoracique, comparée à celle des parties correspondantes de membre abdominal, ne s'explique que par la torsion de l'humérus.

Il est le seul os long dont le corps soit ainsi contourné en hélice : en lui imprimant cette forme, la nature nous dévoile le procédé simple et rationnel par lequel le sens de la flexion devient antérieur ou externe, de postérieur qu'il était. Il est, d'ailleurs, complétement indifférent pour l'observateur que cette torsion se soit réellement effectuée ou qu'elle ne soit que virtuelle, pourvu qu'il sache que toutes ses conséquences existent. De même, si j'étudie l'influence de la forme sur les fonctions de cellules polyédriques, par exemple, il m'importe peu qu'elles le soient originairement, ou qu'elles aient été primitivement sphériques et soient devenues polyédriques consécutivement, par suite de leur compression mutuelle.

L'histoire naturelle est pleine de faits semblables. Dans les monstruosités de poissons doubles adhérant entre eux par leur extrémité postérieure, les parties antérieures et séparées des deux individus ont chacune leur colonne vertébrale distincte; mais dans la partie inférieure, qui est commune à tous les deux, il n'y a qu'une colonne vertébrale unique. En me montrant les dessins de ces poissons, M. Coste ajoutait : « Virtuellement cependant, les deux colonnes vertébrales existent dans la queue du poisson double; mais la colonne centrale ne s'est pas développée, et les deux moitiés externes, appartenant l'une au poisson de droite, l'autre au poisson de gauche, se sont unies et constituent la colonne vertébrale *unique*, axe de la queue qui leur est commune à tous deux. »

Dans les végétaux, mêmes faits : toutes les Labiées, à corolle bilabiée, ont la lèvre supérieure à un ou deux lobes, l'*inférieure* à trois, quatre ou cinq lobes (1); les étamines, convexes *supérieurement*, sont logées sous la lèvre supérieure. Mais dans la tribu des Ocimoïdées, composée des genres *Ocimum*, *Orthosiphon*, *Plectranthus*, *Coleus*, *Hyptis*, etc., la lèvre *supérieure* est à quatre lobes, l'inférieure à un seul (2), les étamines sont convexes *inférieurement* et logées au-dessus de la lèvre inférieure. Il est admis par tous les botanistes, que dans cette tribu la corolle est renversée, et cependant jamais aucun d'eux n'a vu ce renver-

(1) Voyez la pl. II, fig. 10, représentant la fleur du *Salvia grandiflora* Ettl.
(2) Voyez la fig. 11, représentant la fleur de l'*Ocimum Dillonii* Del.

sement s'opérer ; la fleur naît renversée comme l'humérus naît tordu ; je m'en suis assuré sur des boutons de fleur de l'*Ocimum carnosum* Link, qui n'avaient pas plus d'un millimètre de long. Dans toute cette tribu de végétaux, il y a donc un renversement virtuel analogue à la torsion virtuelle de l'humérus des Vertébrés.

Il n'est pas jusqu'au règne minéral qui ne nous présente des exemples semblables. Le sulfate de chaux cristallise en prisme rhomboïdal oblique ; mais on trouve souvent, par exemple aux environs de Paris, des cristaux *hémitropes*, dits sulfate de chaux en fer de lance. Ces cristaux ne s'expliquent qu'en supposant que la moitié droite du cristal coupé suivant un plan médian, tourne de 180 degrés sur la moitié gauche ; le cristal présente alors un angle rentrant, qui figure la partie inférieure d'un fer de lance. Dans ces cristaux, on voit très bien le plan sur lequel cette rotation s'est faite ; ce plan, visible dans le cristal, est une indication analogue à celle de la forme torse de l'humérus. De même, certains cristaux octaédriques de spinelle, de diamant, de fer oxydulé, présentent quelquefois des angles rentrants. Cette hémitropie est produite par la rotation d'un sixième de circonférence ou 60 degrés, suivant un plan médian, de la moitié droite du cristal sur la moitié gauche ; les angles rentrants, dont nous avons parlé, sont le résultat de cette rotation. Ces transformations, faciles à réaliser avec des modèles en relief, sont dues à une *rotation virtuelle*, comme l'indique le nom même d'hémitropie, sous lequel les minéralogistes ont désigné ce mode anormal de cristallisation. Jamais aucun d'eux n'a vu la rotation s'opérer, tous cependant l'admettent et en constatent les effets, quoiqu'elle ne soit point physiquement effectuée.

Ces rotations virtuelles se rencontrent donc dans les trois règnes de la nature, et ne constituent ni une objection ni même une difficulté qui doive arrêter longtemps le naturaliste ni le philosophe.

## II. — Comparaison des deux os de la jambe avec ceux de l'avant-bras. Constance de la tête du cubitus.

*La tête du cubitus entre dans la composition de l'articulation de l'avant-bras avec le bras de tous les Mammifères, sans exception :*

telle est la première proposition auxiliaire que nous devons établir, avant d'aborder la comparaison directe des os de la jambe avec ceux de l'avant-bras.

Dans l'homme et les Singes anthropomorphes, le cubitus embrasse l'humérus par une surface presque demi-circulaire, terminée en avant par l'apophyse coronoïde, en arrière par l'olécrane; deux facettes correspondent aux deux saillies de la trochlée. Le radius, au contraire, ne touche le condyle huméral que par une cupule articulaire qui lui est lâchement unie.

Si l'on étudie les autres Mammifères sous le point de vue de leur articulation huméro-cubitale, on peut les diviser en trois groupes : 1° ceux où le cubitus et le radius sont complets, distincts et plus ou moins mobiles l'un sur l'autre; 2° ceux où les deux os sont distincts, mais immobiles; 3° ceux, enfin, où le corps et l'extrémité carpienne du cubitus sont soudés avec le radius et plus ou moins avortés. Nous allons voir que dans ces trois groupes, la tête du cubitus fait *toujours* partie de l'articulation qui unit le bras à l'avant-bras.

1° Dans l'homme et les Quadrumanes, les mouvements de pronation et de supination sont faciles, et le radius décrit une demi-circonférence en tournant sur le cubitus. Ils deviennent plus obscurs, mais existent encore dans les Ours, les Ratons, les Chats, les Écureuils, le Castor, l'Aï et l'Unau (1). Chez ces quadrupèdes, la part du cubitus dans l'articulation est à peu près la même que dans l'homme, sauf que l'olécrane est plus aplati de dehors en dedans.

2° La part du cubitus augmente dans les animaux où les deux os sont complets, mais immobiles, et même quelquefois accolés (2) : c'est le développement de l'olécrane qui contribue à l'accroissement de la surface articulaire. Je citerai les Chiens, les Castors, les *Lagotis*, les Hippopotames et les Cochons; mais c'est surtout l'articulation du coude de l'Éléphant qui est très remarquable sous ce point de vue. La face articulaire du cubitus se compose d'un

(1) Cuvier, *Observations sur l'ostéologie du Paresseux*. (*Annales du Muséum d'histoire naturelle de Paris*, t. V, p. 207; 1804.)

(2) Dans la Gerboise et le Cobaye ils sont unis par une lame osseuse.

énorme olécrane, et d'une surface coronoïdale qui se partage antérieurement en deux lobes comme un cœur de carte à jouer ; c'est dans l'intervalle de ces deux lobes que s'enclave la tête triangulaire du radius dont la surface articulaire égale à peine la cinquième partie de la surface du cubitus ; celle-ci est en contact avec toute la poulie humérale, sauf la petite face triangulaire dont nous avons parlé. Dans le Cochon, le cubitus et le radius sont exactement accolés l'un à l'autre ; l'olécrane est aplati transversalement, et la surface articulaire cubitale l'emporte de beaucoup sur la radiale.

Chez les Phoques, les Morses, les Lamantins et les Dugongs, les deux os sont distincts, séparés et placés l'un derrière l'autre ; le cubitus est surmonté d'un olécrane très développé. Dans les Dauphins, le Narval, les Hyperodons, les Rorquals et les Baleines, la disposition des deux os de l'avant-bras est la même, mais l'olécrane est rudimentaire ; ce sont les seuls Mammifères où cette apophyse n'entre pas dans la composition de l'articulation du coude. Chez les Oiseaux, l'olécrane est nul ou rudimentaire. L'existence de cette apophyse semble donc incompatible avec une vie complétement aquatique ou entièrement aérienne ; elle est liée à une vie terrestre ou amphibie, car l'olécrane, constant dans les Quadrupèdes, existe également dans la rame du Phoque et dans le bras qui supporte le parachute du Galéopithèque. Le corps du cubitus semble avoir une autre signification, puisqu'il est rudimentaire, filiforme, ou même nul dans les Chéiroptères, dont la vie est essentiellement aérienne, et complet dans les Cétacés, dont l'existence est exclusivement aquatique.

3° Dans certains Insectivores, les Solipèdes et les Ruminants, le corps du cubitus se soude ou se confond en partie ou même en totalité avec le radius ; mais l'olécrane prend alors un développement d'autant plus grand que la fusion du corps des deux os est plus complète. Dans le Hérisson, les deux tiers inférieurs du cubitus sont soudés avec le radius ; l'olécrane est très marqué. Il le devient relativement encore plus dans l'Élan, où le corps très grêle du cubitus est séparé du radius ; dans la Chèvre, la Biche, le Daim, où les deux tiers inférieurs du cubitus sont soudés avec le

radius; dans le Bœuf, où les trois quarts inférieurs du cubitus se confondent avec le radius; dans le Chameau, le Cheval, l'Ane, où l'olécrane semble une apophyse du radius, le corps du cubitus se confondant au-dessous de l'olécrane même avec celui du radius. Chez la Girafe, ce corps est séparé du radius dans son quart supérieur et son quart inférieur, mais il est tout à fait filiforme : chez tous ces animaux, l'olécrane, énormément développé, constitue, comme dans les autres Mammifères terrestres, la partie postérieure de l'articulation huméro-cubitale, tandis qu'inférieurement l'humérus ne s'articule qu'avec le radius. Ces faits nous conduisent à considérer comme une vérité démontrée que, *dans les Mammifères terrestres et amphibies, le cubitus entre constamment dans la composition de l'articulation du coude, dont il constitue la partie correspondant au plan de l'extension*. Or, si le cubitus est une pièce essentielle de l'articulation du coude dans tous les Mammifères, il est *impossible* que son représentant pelvien n'entre pas dans la composition de l'articulation du genou. Étudions donc sous ce point de vue l'articulation fémoro-tibiale, et voyons si l'observation directe viendra confirmer la prévision fournie par l'induction.

### Composition de la tête fémorale du tibia.

Nous avons à démontrer actuellement que *le chapiteau du tibia chez l'homme et la plupart des Mammifères est formé par la coalescence des têtes du cubitus et du radius réunies*. Dans l'homme et les Mammifères supérieurs, ces deux os sont de grosseur à peu près égale; si la tête du cubitus l'emporte sur celle du radius, par compensation, l'extrémité carpienne de ce dernier os est plus volumineuse que l'extrémité correspondante du cubitus. Tous les anatomistes, au contraire, ont été frappés de la disproportion du tibia et du péroné : le premier formant une colonne massive terminée supérieurement par un énorme chapiteau; le second, long, grêle, aminci, évidé et comme atrophié. Les os de la jambe, chez l'homme et chez les animaux, sont donc un des beaux exemples de cette loi du balancement des organes posée par Goethe (1) et

(1) *Œuvres d'histoire naturelle*, traduites par Ch. Martins, p. 29; 1837.

développée depuis par Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1). Il semble qu'en se transformant en tibia, le radius se soit développé aux dépens du cubitus, ou plutôt l'ait incorporé à lui. C'est ce qui a lieu en réalité, puisque le chapiteau du tibia est formé par la coalescence des têtes du cubitus et du radius. En effet, l'humérus s'articulant avec ces deux os, il *doit* en être de même pour le fémur; or, celui-ci semble ne s'articulier qu'avec le tibia. Mais si l'on considère le genou avec soin, on remarque sur le tibia deux faces articulaires, comme celles du cubitus et du radius. L'externe ou péronéale est plus rapprochée du plan de l'extension, comme la concavité sygmoïdale du cubitus qu'elle représente; l'interne, plus rapprochée du plan de la flexion, répond à la cupule articulaire du radius, qui est également plus voisine du plan de la flexion. L'épine qui sépare les deux surfaces articulaires du tibia ne correspond pas, comme on le dit généralement, à la crête qui va du sommet de l'olécrane à l'apophyse coronoïde, mais à l'intervalle qui sépare la tête du cubitus, de la cupule articulaire du radius.

Une preuve plus convaincante encore, parce qu'elle est pour ainsi dire intuitive, a frappé déjà les yeux de plusieurs anthropotomistes (2). Si l'on place l'un à côté de l'autre un coude et un genou de squelette, et qu'on les regarde de profil, il est impossible de méconnaître la ressemblance prodigieuse de la crête antérieure du tibia, à partir de l'insertion du ligament rotulien jusqu'au-dessous du tiers supérieur de l'os, avec la crête postérieure du cubitus qui part de la base de l'olécrane et se prolonge également jusqu'au-dessous du tiers supérieur de l'os. Toutes deux sont tranchantes; toutes deux offrent à leur partie moyenne une incurvation dans le même sens, c'est-à-dire convexe vers le radius au bras, et vers la

(1) *Considérations sur les pièces de la tête osseuse des animaux vertébrés, et particulièrement sur celle du crâne des Oiseaux* (*Annales du Muséum*, t. X, p. 342; 1807). — *Mémoire sur les rapports naturels des Makis* (*Magasin encyclopédique*, t. I, p. 20; 1796; et *Vie, travaux et doctrine d'E. Geoffroy Saint-Hilaire*, par son fils, p. 134; 1847.

(2) Meckel, *Manuel d'anatomie*, traduit par Jourdan, t. I, p. 775. — Bourgery, *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, t. I, p. 137. — Cruveilhier, *Traité d'anatomie descriptive*, t. I, p. 344.

moitié interne du tibia à la jambe. Ajoutons que c'est au haut de cette crête que s'insère le ligament qui porte la rotule, dont l'analogie avec l'olécrane est incontestable. Qu'on admette donc une coalescence des deux têtes du radius et du cubitus, ou qu'on dise simplement que le radius s'est développé aux dépens du cubitus pour former la tête du tibia, toujours est-il qu'on ne saurait nier le *caractère cubital* de la portion antérieure du tiers supérieur du tibia. A partir de l'incurvation de la crête dont nous avons parlé, la coalescence cesse. Le radius et le cubitus, au lieu d'être placés l'un derrière l'autre, sont tous les deux sensiblement parallèles au plan de l'extension, et la crête du tibia, qui, à partir de ce point, se dirige en s'effaçant vers la malléole interne, est représentée à l'avant-bras par le bord postérieur du radius qui se dirige également, en s'effaçant, vers la malléole ou apophyse styloïde du radius. De même, le bord antérieur du péroné représente parfaitement la crête des deux tiers inférieurs de la face postérieure du cubitus.

L'anatomie comparée confirme cette induction tirée de l'anatomie humaine. Dans certains Marsupiaux, tels que les Phascolômes, les Dasyures, les Phalangers et les Sarigues, où le tibia et le péroné restent séparés comme le radius et le cubitus, la face antérieure du tibia est *arrondie* dans son tiers supérieur, la crête *cubitale* du tibia manque (1); mais la crête existe dans les deux tiers inférieurs, où elle représente le bord postérieur du radius. En résumé, si l'on considère de profil, du côté du cubitus, la face postérieure d'un avant-bras placé à côté de la face antérieure d'une jambe, le cubitus masque le radius dans son tiers supérieur, c'est la portion dont la coalescence forme le chapiteau du tibia. Au-dessous de ce point, on voit à la fois les deux os qui sont parallèles entre eux, et placés sensiblement dans le plan de l'extension; c'est également au-dessous de ce point que le tibia et le péroné représentent chacun le radius et le cubitus tout entier. J'ai réalisé cette vue anatomique au moyen d'une pièce déposée dans les collections de la Faculté de médecine de Montpellier. La partie postérieure et

(1) Voyez pl. III, les fig. 2, 3 et 7, qui montrent aussi que dans ces animaux la rotule est attachée au péroné et non au tibia.

supérieure du cubitus ayant été sciée, en suivant une ligne oblique partant du tiers supérieur de l'os et aboutissant au-dessous de l'apophyse coronoïde, j'ai fixé cette partie détachée au-devant du radius. Les deux os accolés, surmontés de l'olécrane, représentent parfaitement le chapiteau du tibia surmonté de la rotule, et la moitié antérieure du cubitus dédoublé s'articulant au-dessous de la face articulaire coronoïdale, reproduit exactement le tiers supérieur du péroné, s'articulant au-dessous de la face articulaire du tibia avec le fémur. Ajoutons que cette portion du cubitus donne attache au brachial antérieur, comme la tête du péroné sert d'insertion au muscle homologue, la courte portion du biceps fémoral; de plus, le nerf poplité externe contourne le col de la tête du péroné comme son homologue le cubital longe la facette rugueuse où s'insère le brachial antérieur. En résumé, *la partie antérieure du tiers supérieur du tibia est formée par l'addition de la portion sous-olécranienne du cubitus à la partie supérieure du radius*, ou, pour parler plus philosophiquement, l'extrémité postérieure étant considérée comme type d'un membre de Mammifère, les têtes séparées du cubitus et du radius sont le *dédoublement* de celle du tibia (1).

Les mouvements de pronation dans l'homme, les Singes et quelques Carnivores; la pronation permanente des Pachydermes et des Ruminants, sont donc une conséquence de la torsion de l'humérus et du dédoublement de la tête du tibia. La comparaison de la rotule avec l'olécrane achèvera, je l'espère, de porter la conviction dans l'esprit du lecteur.

### De la rotule et de l'olécrane.

*L'olécrane est l'analogue de la rotule :* position, connexions, attaches musculaires, fonctions, maladies, tout est semblable; aussi presque tous les anatomistes (2) ont-ils assimilé ces deux os.

(1) C'est encore un phénomène habituel dans les végétaux. Voyez sur ce sujet Dunal, *Considérations sur la nature et les rapports de quelques-uns des organes de la fleur*; 1829.

(2) Winslow, *Exposition anatomique de la structure du corps humain*, t. I, p. 285, 1775. — Vicq-d'Azyr, Mémoire cité (*Académie royale des sciences de Paris*, pour 1774, p. 257, 1778) — Sabatier, *Traité d'anatomie*, 2e édit., t. I, p. 218, 1791. — Sœmmerring, *De corporis humani fabrica*, t. I, p. 385

L'attache de la rotule au tibia a été même le principal argument des auteurs qui, à l'exemple de Vicq-d'Azyr, Meckel et Bourgery, comparent le tibia, ou du moins sa partie supérieure, au cubitus. Considérant, comme nous le faisons, la tête du tibia comme résultant de la coalescence de celles du cubitus et du radius, il est facile de montrer que la rotule est fixée sur la partie de cet os qui représente le bord postérieur du cubitus. En effet, le ligament s'insère à la partie interne ou radiale de la tête du tibia, et immédiatement à la terminaison de ce bord tranchant qui rappelle si bien celui de la face olécranienne du cubitus. Au bras, le ligament rotulien est représenté par le muscle anconé, comme nous le démontrerons plus loin.

Dans tous les animaux, il y a analogie de forme entre la rotule et l'olécrane. Aplatis d'arrière en avant dans l'homme et les Singes, ces deux os sont comprimés latéralement dans les Ruminants et les Solipèdes. Tous deux donnent attache à des muscles dont l'homologie a été reconnue par tous les anatomistes, savoir, les longues portions des deux triceps de la cuisse et du bras. Quand on étudie cette attache au moyen d'une coupe longitudinale à travers un olécrane et une rotule, on voit que sur tous les deux le tendon s'insère à l'angle qui sépare la face verticale périphérique du sommet arrondi des deux os. Ni la rotule ni l'olécrane ne sont contenus dans l'épaisseur du tendon des triceps : tous deux sont compactes à la circonférence, spongieux au milieu ; chez tous deux la face à laquelle le muscle s'attache est plus compacte et plus épaisse que l'autre. Tous deux font partie d'une grande articulation, dont ils ne sont séparés que par une synoviale ; enfin, après certaines fractures

et 430 ; 1794. — Boyer, *Traité d'anatomie*, 2e édit., t. I, p. 389 ; 1803. — Meckel, *Manuel d'anatomie*, t. I, p. 755 et 774 ; 1825. — Gerdy, *Note sur le parallèle des os*. (*Bulletin de Férussac*, t. XVI, p. 375 ; 1829.) — J. Cloquet, *Manuel d'anatomie descriptive*, texte, p. 94 ; 1825. — Bourgery, *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, t. I, p. 135 ; 1832. — Blandin, *Nouveaux éléments d'anatomie descriptive*, t. I, p. 208 ; 1838. — O. Ward, *Outlines of Human Osteology*, p. 510, 1838. — Cruveilhier, *Traité d'anatomie descriptive*, 2e édit., t. I, p. 343 ; 1843. — Jamain, *Nouveau traité élémentaire d'anatomie descriptive*, p. 86 ; 1853. — Henle, *Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen*, t. I, p. 202 et 205 ; 1855.

de l'olécrane, cette apophyse reste séparée du cubitus et devient une véritable rotule (1). Cet état pathologique se montre à l'état normal chez quelques animaux. Plusieurs Roussettes (*Pteropus Edwardsii* Geoff., *P. vulgaris* Geoff., *P. poliocephalus* Temm. et *P. Keraudrenii* Quoy), enfin la Chauve-souris vampire et le Pingouin (2), ont un olécrane séparé du cubitus et formant une véritable rotule. Dans le règne animal, quand l'un de ces os disparaît, il est rare que l'autre persiste ; tous deux manquent à la fois chez les Oiseaux et les Reptiles ; cependant, les Kangourous et certains Chéiroptères ont un olécrane et point de rotule.

En résumé, la rotule est une simple répétition de l'olécrane, un olécrane séparé de l'os auquel il appartient : les deux os sont homologues par leurs connexions, leur forme, leur structure et leurs attaches musculaires.

L'étude du membre postérieur des derniers Mammifères, tels que les Phascolômes, les Phalangers, les Dasyures, les Sarigues, parmi les Marsupiaux, combinée avec celle des Monotrèmes, va achever une démonstration à laquelle les considérations précédentes n'avaient donné qu'un degré de probabilité insuffisant pour contenter les esprits difficiles. Dans ces animaux, la coalescence des têtes du cubitus et du radius, pour former le chapiteau du tibia, n'a point lieu, comme nous l'avons prouvé précédemment ; les deux os restent séparés à la jambe comme à l'avant-bras : aussi la rotule ne se fixe-t-elle pas au tibia, mais au péroné. Dans le Phascolôme-Wombat (Pl. III, fig. 3), nous voyons un tibia et un péroné de grosseur égale ; le péroné *p* s'articule avec le fémur *f*, comme le cubitus *c* (fig. 4) avec l'humérus *h* ; ce péroné est surmonté d'une rotule *l*, dont la forme est la même que celle de l'olécrane *o* ; la face antérieure et supérieure du tibia *t* est arrondie ; elle ne présente pas cette crête caractéristique qui rappelle d'une

(1) Delachenel, *Observationes anatomico medicæ*, § 28. Basileæ, 1784. — Camper, *Dissertatio de fractura patellæ et olecrani* ; 1789. — Rosenmuller, *De ossium varietatibus*, p. 62 : Lipsiæ, 1804. — Capiomont, *Essai de chirurgie pratique sur la fracture de l'olécrane.* (*Thèse de Paris*, n° 49 ; 1803.) — Malgaigne, *Traité des fractures et des luxations*, t. I, p. 568, et pl. IX, *fig.* 2, 3 et 4.

(2) Meckel, *Traité général d'anatomie comparée*, t. III, 2e part., p. 165.

manière si frappante la crête postérieure du cubitus. Comment existerait-elle, puisque chez ces animaux les deux os restent complétement distincts, et que le péroné porte sa rotule comme le cubitus son olécrane ? Sur le squelette d'une espèce de Phascolôme plus grande que le Wombat, faisant partie du Muséum de Paris, j'ai trouvé les dispositions suivantes : le tibia était aplati latéralement; il n'avait point de crête; elle paraissait comme retranchée avec la partie antérieure de la surface articulaire. Un cartilage transparent, quoique assez épais, était fixé au bord antérieur de cette surface; la tête du péroné, très volumineuse et portant deux larges apophyses latérales, s'articulait avec le condyle externe du fémur; elle était surmontée d'une rotule péronéale qui rappelait très bien l'olécrane de l'animal. Un Marsupial carnivore, le Dasyure à longue queue (*Dasyurus macrourus* Geoff.) (pl. III, fig. 7), présente un péroné *p* d'un volume à peu près égal au tibia *t*, s'articulant avec le fémur *f* et surmonté d'une rotule *l*. Le tibia est sans crête, arrondi en avant, et ne porte pas de rotule. L'olécrane du cubitus est très marqué. Dans les Phalangers, mêmes dispositions. La figure 2 de la planche III représente le membre postérieur gauche d'une Sarigue, le *Didelphis Azaræ* de grandeur naturelle. La tête du péroné *p*, aussi grosse que celle du tibia *t*, s'articule avec elle et avec le condyle externe du fémur *f*. Supérieurement le bord antérieur du tibia est arrondi, la tête est surmontée d'une capsule articulaire sans rotule ; celle-ci *l*, ou un os qui la représente, est fixée au péroné. Dans les galeries d'anatomie comparée du Muséum de Paris, j'ai pu étudier les squelettes du Phalanger roux, du Phalanger Renard et du Phalanger de Cook; ils présentent une structure analogue : dans la dernière espèce, la tête du péroné est plus grosse que celle du tibia et s'élève beaucoup plus haut qu'elle. Je suis heureux de me rencontrer sur ce point avec M. Owen, et de considérer comme lui et après lui le péroné surmonté d'un sésamoïde rotuliforme dans les Phalangers, les Phascolômes et les Dasyures, comme représentant *seul* dans la série des Mammifères le cubitus tout entier. Mais on se tromperait si l'on pensait que chez tous les Marsupiaux le tibia représente le radius seul, et le péroné le cubitus tout entier. Dans les Péramèles,

*Perameles nasuta* Geoff., par exemple, le péroné est grêle, non articulé avec le fémur; le tibia offre une *crête cubitale* surmontée d'une rotule. Dans les Kangourous, la crête du tibia est très proéminente et amincie, le péroné faible; la rotule avorte ou se réduit à un noyau cartilagineux inséré par un ligament sur la crête du tibia.

Les Monotrèmes viennent confirmer d'une autre manière la théorie de la composition du chapiteau tibial, par la coalescence des têtes du radius et du cubitus. Dans l'Ornithorhinque, le tibia *t* (pl. III, fig. 6) présente en avant une crête bien marquée; il est surmonté d'une grosse rotule *l*. Le péroné *p* se prolonge supérieurement et se termine par une énorme apophyse *a*, égale à la moitié de la longueur de l'os. Ainsi donc, dans cet animal, le tibia et le péroné sont surmontés, le premier d'une rotule, le second d'une apophyse olécranienne. L'appareil rotulien étant double, l'appareil olécranien l'est également : au bras nous voyons (fig. 5) un cubitus *c* surmonté d'un double olécrane *o* ou plutôt de deux olécranes soudés; l'un de ces olécranes *l* représente la rotule tibiale *l* (fig. 6); l'autre *a* (fig. 5) la grande apophyse péronéale *a* (fig. 6). En effet, si vous supposez le membre antérieur retourné par la détorsion de l'humérus, le crochet olécranien *l* (fig. 5) devient *convexe* en avant comme la rotule tibiale *l* (fig. 6), et le crochet olécranien *a* (fig. 5) devient *concave* en avant comme l'apophyse péronéale *a* (fig. 6). Ainsi donc, dans cet animal, dont la structure offre déjà tant de bizarreries, nous trouvons au cubitus deux olécranes et au genou deux rotules; l'une péronéale soudée à la tête de l'os, l'autre tibiale fixée par un ligament.

L'Échidné offre une disposition analogue (1): par conséquent, dans les Monotrèmes, la portion olécranienne du cubitus qui s'est unie au radius représenté par le tibia, a entraîné l'un des olécranes qui forme la rotule tibiale; l'autre olécrane est resté fixé au péroné qui représente la portion coronoïdale du cubitus. C'est encore le phénomène, si commun dans le règne végétal, que les botanistes désignent sous le nom de dédoublement.

Réfutons quelques objections. Les anatomistes qui considèrent

(1) Voyez Cuvier, *Sur l'ostéologie des Monotrèmes*. (*Recherches sur les ossements fossiles*, t. V, 1re partie, pl. XIII, *fig.* 1, 10, 11, 14 et 19.)

le tibia comme représentant le radius *seul*, ont été toujours embarrassés par l'attache de la rotule, dont l'analogie avec l'olécrane était difficile à nier. « On demandera sans doute ce que devient la rotule dans ma manière de voir, dit M. Flourens (1) ? La rotule, selon Vicq-d'Azyr, répond à l'olécrane... ; mais vous remarquerez que l'olécrane forme une véritable partie du cubitus, tandis que la rotule n'a nul rapport possible avec le péroné ; la rotule est donc un os particulier, sans nulle analogie réelle avec l'olécrane ; simple os sésamoïde placé dans le tendon du triceps crural pour faciliter le jeu de ce tendon sur le fémur, comme précisément à l'opposite, c'est-à-dire à la partie postérieure des condyles, il s'en développe si souvent dans le point de chaque tendon des jumeaux qui répond aux condyles. »

M. Owen (2) considère comme analogue de l'olécrane le sésamoïde détaché du péroné, qu'on observe sur le Phascolôme-Wombat. M. Paul Gervais reproduit la même opinion : « On a cru à tort, dit-il (3), que la rotule formait primitivement l'épiphyse du tibia, et c'est également par erreur que l'on a considéré l'apophyse olécrane du cubitus comme lui correspondant au membre antérieur. » En admettant la coalescence des têtes du cubitus et du radius dans le chapiteau du tibia, la difficulté tombe d'elle-même, puisque c'est à la portion de l'os représentant le cubitus que s'insère le ligament rotulien, et rien n'empêche de regarder, avec la plupart des anatomistes (voy, p. 73), la rotule comme la répétition homologique de l'olécrane. Assimiler la rotule à un *sésamoïde*, ce n'est point infirmer son analogie avec l'olécrane, qui serait, si l'on veut, un sésamoïde soudé au cubitus dans la plupart des animaux. De Blainville (4), ne considère-t-il pas tous les sésamoïdes comme des apophyses libres des os près desquels ils se trouvent,

(1) *Sur le parallèle des extrémités dans l'homme et les quadrupèdes.* (*Annales des sciences naturelles*, t. X, p. 38, 1836 ; et *Mémoires d'anatomie et de physiologie comparées*, p. 97 ; 1844.)

(2) *Principes d'ostéologie comparee*, p. 356, et pl. XIV, fig. 16, et notre fig. 28 *l*.

(3) *Théorie du squelette humain*, p. 63 ; 1856.

(4) *Ostéographie des cinq classes d'animaux vertébrés*, t. I, p. 11 ; 1841.

et, dans plusieurs Chéiroptères, l'olécrane n'est-il pas séparé du cubitus, c'est-à-dire à l'état de rotule, et par conséquent un sésamoïde dans l'opinion des savants zoologistes que j'essaye de combattre.

Un os constant tel que la rotule peut donc être envisagé comme une apophyse qui ne s'est pas soudée avec l'os dont elle fait partie, et comme l'homologue de l'olécrane. Que sont, en effet, les vrais sésamoïdes pour tous les anatomistes? Ce sont de petits os situés dans l'épaisseur des tendons, variables pour le nombre, la forme, la grosseur, rares dans le jeune âge, communs dans la vieillesse. Le développement de la rotule sur le trajet d'un tendon est donc le seul rapport qu'elle présente avec les os sésamoïdes ordinaires; car dans toute la classe des Mammifères terrestres ou amphibies, elle ne manque que dans les Kangourous et quelques Chéiroptères; encore est-elle représentée souvent par un cartilage. Sa position, sa forme, sa grosseur, sont aussi constantes que celles de l'olécrane; c'est donc un os essentiel du squelette des Mammifères; et si l'on veut assimiler la rotule aux sésamoïdes ordinaires, il faut l'appeler un *sésamoïde constant*, ou bien admettre que c'est un olécrane uni à la crête tibiale par un ligament et faisant partie, comme l'olécrane du cubitus, d'une grande articulation et donnant attache, comme lui, par son bord supérieur, au tendon du muscle extenseur le plus puissant de la seconde brisure des membres chez tous les Mammifères monodelphes. L'hésitation n'est guère possible, et presque tous les anatomistes se sont ralliés à cette dernière interprétation.

Je résume donc mon opinion dans cette phrase : *La rotule, homologue de l'olécrane, est fixée à la portion antérieure et externe du tibia, qui reproduit la partie sous-olécranienne du cubitus. Dans les Phascolômes les Phalangers, les Dasyures et les Sarigues où le tibia ne représente que le radius, le péroné, au contraire, le cubitus tout entier, la rotule s'insère au péroné comme l'olécrane est uni au cubitus.*

### Du corps du cubitus et du péroné.

*Le péroné, dans l'homme et la plupart des Mammifères, est la partie coronoïdale du cubitus dans son tiers supérieur, le cubitus*

*tout entier dans ses deux tiers inférieurs*. J'ai déjà indiqué quelques-unes de ces analogies (p. 70) à propos du tibia; il me reste à compléter le parallèle.

La tête du péroné est surmontée en arrière d'une éminence (apophyse styloïde du péroné) qui répond parfaitement à l'apophyse coronoïde du cubitus; elle donne attache à la courte portion du biceps crural homologue du brachial antérieur, et est côtoyée par le nerf poplité externe, homologue du cubital. Jusqu'au-dessous de son tiers supérieur le péroné est grêle; mais à partir de ce point, son volume augmente, parce qu'il représente le corps entier du cubitus. La malléole externe est l'apophyse styloïde du cubitus amplifiée. Si l'on regarde la surface d'extension d'un squelette d'avant-bras, on reconnaît très bien que dans le tiers supérieur, le radius et le cubitus sont peu écartés, et des crêtes osseuses, partant du bord interne du radius, semblent les traces d'une union primordiale des deux os; mais dans leurs deux tiers inférieurs ils sont écartés l'un de l'autre. On observe encore, en plaçant une jambe à côté de cet avant-bras, que c'est également dans ses deux tiers inférieurs seulement que le corps du tibia reproduit complétement la forme convexe de la face dorsale du radius, dont l'apophyse styloïde est l'image fidèle de la malléole interne. Il en est de même du cubitus, dont le bord postérieur rappelle la crète antérieure du péroné. L'étude des muscles confirmera ces vues, lorsque nous constaterons que des muscles évidemment homologues, les fléchisseurs et les extenseurs des doigts et des orteils, ne s'insèrent pas toujours aux os correspondants si l'on considère le tibia comme représentant le radius *seul*, le péroné comme l'analogue du cubitus *tout entier*.

Mais c'est l'anatomie comparée qui va jeter le plus grand jour sur cette question, en nous montrant que le péroné est un os essentiellement accessoire, une véritable attelle du tibia. Ainsi, pendant que la partie olécranienne du cubitus est constante comme la rotule dans l'immense majorité des Mammifères terrestres ou amphibies, le péroné disparaît souvent en partie ou en totalité. Pour tout anatomiste penseur, cela seul serait une démonstration. En effet, l'extrémité supérieure du cubitus, qui est constante, ne

saurait correspondre à l'extrémité supérieure du péroné qui ne l'est pas; aussi correspond-elle à l'extrémité fémorale du tibia qui n'avorte jamais, et se développe d'autant plus que le péroné s'atrophie davantage.

D'une manière générale, on peut dire que dans les Mammifères où le cubitus est complet (1), le péroné l'est également; cependant il y a de nombreuses exceptions, et nous allons voir que le péroné s'atrophie ou disparaît dans des genres où le cubitus persiste en entier. Chez les Singes, les Carnivores, les Pachydermes, les Pinnipèdes, les Édentés et les Marsupiaux, les deux os sont complets et distincts; on observe seulement, comme loi constante, que le péroné est d'autant plus grêle que la partie antérieure et supérieure du tibia est plus développée (2). Mais déjà dans les Makis, cet os a une tendance à se confondre avec le tibia. Chez le Tarsier (*Tarsius spectrum* Geoff.) il est très grêle et égale seulement la moitié supérieure du tibia, dont la crête est très développée. Dans les Roussettes, le péroné est filiforme; ex. : la Roussette à crinière et le *Vespertilio murinus* L. (3); il avorte dans la Roussette commune (*Pteropus vulgaris* Ét. Geoff.) et le *Pt. poliocephalus* Temm., mais reparaît dans le Galéopithèque, où il est surmonté d'un sésamoïde, quoiqu'il y ait une petite rotule tibiale. M. P. Gervais s'est assuré sur la Chauve-souris mystacine, qui n'a ni cubitus ni péroné, que l'un et l'autre existent pendant l'état fœtal, où ils sont représentés par une corde ligamenteuse (4). Ces deux os entrent donc toujours dans le plan du squelette, mais ils sont plus ou moins absorbés par le radius et le tibia.

Chez les Insectivores, le péroné est souvent libre, mais quelquefois il se soude dans ses deux tiers inférieurs, comme dans le Hérisson; ou dans ses trois quarts inférieurs; exemples : la Taupe,

(1) Voyez page 69.

(2) Exemples : Ours, Civette, Lion, Tigre, Lynx, Guépard, Rhinocéros, Hippopotame, Tapir, etc.

(3) De Blainville, *Ostéographie*, *Chéiroptères*, pl. 2.

(4) *De la comparaison des membres chez les animaux vertébrés*. (*Mémoires de l'Académie de Montpellier*, t. II, p. 225, 1853; et *Théorie du squelette humain*, p. 154; 1856.)

le Desman, la Musaraigne de l'Inde, la Macroscelide de Rozet (1). Dans la Taupe, le cubitus est distinct; il est soudé, comme le péroné, dans le Hérisson. Mais c'est dans les Rongeurs que nous allons voir toutes les modifications et toutes les combinaisons possibles. Chez les Marmottes et les Écureuils, le péroné et le cubitus sont tous deux complets et distincts. Le Castor a un cubitus distinct, mais le péroné est soudé dans son quart inférieur. Dans le Cobaye, le radius et le cubitus sont unis par une lame osseuse; le péroné est confondu avec le tibia dans son tiers inférieur. Dans la Souris, le cubitus est séparé; le péroné absorbé par le tibia dans ses deux tiers inférieurs. Dans la Gerboise d'Oran, les deux os de l'avant-bras sont réunis par une lame osseuse; le péroné, filiforme, se perd dans le tibia à la moitié de sa longueur. Enfin, dans le *Lagotis criniger*, que j'ai pu étudier dans le cabinet de la Faculté des sciences de Montpellier, le cubitus est complet et distinct, tandis que le péroné avorte complétement.

Plusieurs Insectivores et Rongeurs nous ont montré que le péroné avait une tendance à s'unir avec le tibia, et même à se confondre avec lui; dans tous les Solipèdes et les Ruminants, nous allons voir cet os diminuer encore de longueur, s'atrophier de plus en plus, et même avorter tout à fait. Le cubitus, au contraire, ne disparaît jamais totalement; l'olécrane persiste toujours, et il est d'autant plus développé que le corps de l'os est plus grêle ou plus absorbé par le radius. Dans le Daim, le péroné est encore égal à la moitié du tibia; dans le Cheval et l'Ane, au tiers; il est en outre grêle, atrophié, fragile, terminé par une pointe aiguë, portant, en un mot, tous les stigmates d'un os avorté. Dans l'Élan, le péroné se réduit à un tubercule, et dans la Girafe, le Lama, le Dromadaire, le Bœuf, la Chèvre, la Biche et l'Axis, il est complétement nul : chez tous ces Quadrupèdes l'olécrane est énormément développé.

Parmi les zoologistes qui considèrent le péroné comme représentant le cubitus *tout entier*, M. Owen (2), et après lui M. Paul Gervais (3) ont beaucoup insisté sur ce que dans certains Insecti-

(1) De Blainville, *Ostéographie*, *Insectivores*, pl. 2 et 3.

(2) *Principes d'ostéologie comparée*, p. 356.

(3) *Théorie du squelette humain*, p. 153.

vores, Amphibies, Rongeurs, Édentés, Marsupiaux et Monotrèmes, le péroné s'articule avec le fémur (1). Sans aucun doute, cette articulation est un trait de plus à ajouter à l'analogie des deux os; mais elle ne rend pas compte de l'insertion de la rotule, homologue de l'olécrane, au tibia, et de la ressemblance extrême de forme qui existe entre la partie antérieure et supérieure du tibia et la partie postérieure et supérieure du cubitus. Or, il suffit de comparer le genou au coude, dans tous les Mammifères, les Oiseaux et les Reptiles, pour être convaincu que l'on a sous les yeux les deux images symétriques d'un appareil osseux originairement identique. Une promenade dans une collection de squelettes donne à cette conviction un caractère de certitude irréfragable L'articulation du péroné avec le fémur est donc l'indice d'une tendance à un dédoublement du tibia qui ne s'opère parfaitement que dans les Marsupiaux à rotule péronéale; mais cette articulation, toujours très peu étendue, comparée à celle du cubitus avec l'humérus, ne suffit pas pour assimiler la tête grêle et sans rotule du péroné de l'homme et des Mammifères monodelphes, au cubitus muni d'un gros olécrane qui forme la partie principale de l'articulation du coude dans tous les autres Mammifères.

De l'analyse de tous les faits que nous venons de passer en revue, je me crois en droit d'établir les deux propositions suivantes qui les relient et les résument :

1° La tête du cubitus, c'est-à-dire l'olécrane et la crête qui lui fait suite dans le tiers supérieur de l'os, existent dans tous les Mammifères terrestres et amphibies. Les parties qui lui correspondent dans le tibia, savoir : la rotule et la crête antérieure de l'os jusqu'au-dessous du tiers de l'os, sont également constantes.

2° Au contraire, le corps du cubitus ou, plus exactement, cet os moins l'olécrane et la crête qui lui fait suite, ne sont pas constants; ils s'atrophient ou se confondent dans le radius. Le péroné, qui correspond précisément à cette portion du corps cubital, non-seulement s'atrophie et diminue de longueur en s'amincissant, mais disparait même complétement. L'ostéologie comparée des

(1) Exemples : Taupe, Hérisson, Phoque, Écureuil, Cobaye, Taton, Sarigue, Ornithorhinque.

Insectivores, des Rongeurs, des Ruminants et des Solipèdes nous démontre donc que l'olécrane et la crête cubitale sont constants comme la rotule et le chapiteau du tibia; le corps du cubitus inconstant, variable comme le péroné qui lui correspond. Ces preuves, ajoutées à celles déjà si concluantes qui nous avaient été fournies par les Phascolômes, les Phalangers, les Dasyures et les Sarigues, où le tibia correspond au radius seul, le péroné au cubitus tout entier, achèvent, ce me semble, d'établir l'homologie parfaite des parties osseuses de l'avant-bras et de la jambe dans la série des Mammifères.

### III. — Comparaison du pied avec la main.

#### Comparaison du tarse.

Le parallèle de ces deux parties du squelette, établi par Vicq-d'Azyr (1), a entraîné la conviction de presque tous les savants; je le présente ici d'une manière synoptique, afin d'en faciliter l'intelligence.

| TARSE. | CARPE. |
|---|---|
| L'astragale. | Le semi-lunaire, avec la tête du grand os. |
| Le calcanéum. | Le pyramidal et le pisiforme réunis. |
| Le scaphoïde ou naviculaire. | Le scaphoïde ou naviculaire. |
| Le premier ou grand cunéiforme. | Le trapèze. |
| Le deuxième ou petit id. | Le trapézoïde. |
| Le troisième id. | Le grand os, moins la tête. |
| Le cuboïde. | L'os unciforme ou os crochu. |

Je ne connais que deux anatomistes qui n'aient point admis ces assimilations; l'un est de Blainville (2). Sans donner ses motifs, il compare le scaphoïde du carpe avec l'astragale du tarse, et le semi-lunaire uni au pisiforme avec le calcanéum. Blandin (3) pense que le scaphoïde du tarse répond au semi-lunaire et au scaphoïde du carpe réunis, l'astragale au pyramidal, parce que le tibia représentant pour lui le cubitus, le pyramidal est placé au-dessous de cet os dans le poignet, comme l'astragale dans l'articulation du

(1) Mémoire cité dans ceux de l'*Académie des sciences de Paris* pour 1774, p. 262, et *Œuvres complètes*, publiées par Moreau (de la Sarthe), t. IV, p. 326.

(2) Article Organisation des Mammifères, du *Dictionnaire d'histoire naturelle* de Deterville, t. XIX, p. 92; 1818.

(3) *Nouveaux éléments d'anatomie descriptive*, t. I, p. 210; 1838.

cou-de-pied ; puis, dans sa comparaison des membres, le pouce se trouvant en *dehors*, tandis que le gros orteil est en *dedans*, il imagine une rotation du carpe autour du grand os, rotation qui transporte le pouce en dedans et rétablit ainsi l'analogie de la main avec le pied. Je ne m'attacherai pas à montrer l'inexactitude des rapprochements de Blainville et de Blandin ; la vue d'un carpe et d'un tarse, avec l'assimilation du radius au tibia, suffisent pour en convaincre (1).

Au premier abord, l'énorme différence de volume empêche de reconnaître la partie postérieure du calcanéum dans le pisiforme ; mais si l'on jette un coup d'œil sur le dessin qui représente les membres du Phascolôme-Wombat, on verra que le pisiforme *p* de la pl. II, fig. 4, ressemble parfaitement au calcanéum *c* de la figure 3.

Le pyramidal et le pisiforme du carpe ne sont pas les seuls os qui, transposés du carpe au tarse, prennent un développement relatif tellement extraordinaire qu'on a de la peine à saisir leur homologie. Chez le Tarsier et le Galago, petits Lémuriens insectivores et nocturnes, le scaphoïde atteint des dimensions égales à celles du calcanéum. Tous deux sont presque aussi longs que les os de la jambe, de façon que le pied de ces animaux ressemble à un avant-bras terminé par une main. Dans les Kangourous, c'est le cuboïde qui s'allonge comme les deux doigts qui lui correspondent (2). Enfin, l'astragale de l'Échidné est beaucoup plus gros que son calcanéum (3). On reconnaît dans ce cas, comme toujours en anatomie comparée, que le volume relatif des parties similaires ne signifie rien, les connexions seules définissent les organes.

Comparer les os du métacarpe à ceux du métatarse chez l'homme, et les doigts aux orteils, sans entrer dans des détails minutieux étrangers au but de ce Mémoire, me semble superflu ; l'analogie est si évidente qu'elle est généralement admise et exprimée par cet adage : *Per altera manus*.

(1) On lira avec intérêt l'étude comparative des squelettes de la main et du pied, que M. le docteur Giraud-Teulon a insérée dans la *Gazette médicale de Paris*, t. IX, p. 67 et 80 ; 4 et 11 février 1854.

(2) Cuvier, *Leçons d'anatomie comparée*, 2e édit., t. I, p. 529.

(3) Cuvier, *Ostéologie des Monotrèmes*, pl. XIII, fig. 22.

## IV. — Comparaison du bassin et de l'épaule.

Je n'avais pas d'abord l'intention d'établir le parallèle du bassin et de l'épaule; car ces appareils ne font pas partie des extrémités, mais appartiennent au système des ceintures osseuses du corps, au système costal. Déjà Alexandre Monro (1) décrivait le bassin après le sacrum, puis les os de l'épaule, et ensuite seulement les extrémités. De Blainville (2) assimile positivement l'épaule et le bassin aux côtes. Owen (3) les considère tous deux comme des apophyses costales, et les distingue en *pleurapophyses*, ou parties répondant à la portion ossifiée chez l'homme, savoir : l'omoplate et l'iléon, et en *hémapophyses*, ou parties répondant à la portion cartilagineuse de ces mêmes côtes, savoir : la clavicule et le pubis, l'os coracoïdien et l'ischion. Enfin, M. Paul Gervais (4) a donné de nouvelles preuves à l'appui de cette opinion et montré que l'iléon et l'omoplate correspondaient probablement chacun à deux côtes. Il est donc bien établi que l'épaule et le bassin font partie du tronc; mais comme la plupart des muscles du bras et de la cuisse s'insèrent à l'épaule, et que ces insertions jettent un grand jour sur l'homologie des deux extrémités, j'ai cru devoir donner une comparaison de l'épaule et du bassin de l'homme, plus détaillée qu'on ne l'a fait jusqu'ici.

Vicq-d'Azyr (5), fidèle à son système, comparait l'iléon d'un côté à l'épaule du côté opposé. Cette méthode, parfaitement rigoureuse, comme nous le démontrerons mathématiquement, le conduit à des rapprochements très exacts; je les présente ici d'une manière synoptique.

(1) *Traité d'ostéologie*, traduit par Sue; 1759.

(2) Article Mammifères. (*Dictionnaire d'histoire naturelle* de Deterville, t. XIX, p. 88; 1818.)

(3) *Principes d'ostéologie comparée* ou *Recherches sur l'archétype*; 1855.

(4) *Théorie du squelette humain*, p. 118, 1856; et *Comparaison des membres dans les animaux vertébrés*. (*Mémoires de l'Académie de Montpellier*, t. II, p. 283; 1853.)

(5) Mémoire cité, p. 258.

Comparaison du bassin et de l'épaule, d'après Vicq-d'Azyr.

| BASSIN. | ÉPAULE. |
|---|---|
| Branche horizontale du pubis. | Clavicule. |
| Ischion. | Apophyse coracoïde. |
| Cavité cotyloïde. | Cavité glénoïde. |
| Échancrure ischiatique. | Échancrure coracoïdienne. |
| Crête de l'os des iles. | Bord spinal ou interne de l'omoplate. |
| Bord antérieur de l'iléon. | Bord axillaire ou externe. |
| Épine antérieure et supérieure. | Angle pelvien ou inferieur de l'omoplate. |
| Tubérosité de l'ischion. | Angle cervical ou supérieur du même os. |
| Fosse iliaque externe. | Fosse sus-épineuse. |
| Fosse iliaque interne. | Fosse sous-scapulaire. |

Les autres auteurs ont comparé l'épaule au bassin, sans se rendre parfaitement compte de la position relative dans laquelle ils plaçaient ces deux appareils osseux. Ils se bornent à des assimilations partielles, souvent très justes, mais qui ne laissent pas dans l'esprit l'image d'une comparaison d'ensemble résultant, pour ainsi dire, de la superposition des deux figures.

De Blainville (1) assimilait l'omoplate à l'os coxal et la clavicule au pubis; mais pour lui l'ischion trouvait son homologue dans l'os en V des Oiseaux, des Reptiles et de quelques Mammifères qui s'en rapprochent; toutefois, je tiens de M. Gratiolet, le dernier de ses aide-naturalistes, qu'il avait renoncé à cette opinion.

Meckel (2) reconnaît l'omoplate dans l'iléon; mais selon lui la portion externe du pubis serait l'apophyse coracoïde; l'interne, la portion sternale de la clavicule, tandis que sa moitié acromiale correspondrait à la branche montante de l'ischion. La tubérosité de cet os serait représentée par l'acromion lui-même.

Tous les autres auteurs que j'ai consultés : Gerdy (3), Bourgery (4), Blandin (5), MM. Flourens (6) et Cruveilhier (7), se

(1) *Manuel d'anatomie*, t. I, p. 771.

(2) Article cité, p. 90.

(3) *Note sur le parallèle des os.* (*Bulletin de Férussac, Sciences médicales* t. XVI, p. 372; 1829.)

(4) *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, t. I, p. 107.

(5) *Nouveaux éléments d'anatomie descriptive*, t. I, p. 204.

(6) *Sur le parallèle des extrémités.* (*Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. X, p. 39; 1838.)

(7) *Traité d'anatomie descriptive*, t. I, p. 337.

rangent complétement à l'avis de Vicq-d'Azyr, sauf qu'ils ne comparent pas l'épaule d'un côté au bassin du côté opposé ; mais, tout en signalant les parties similaires, ils n'ont pas établi rigoureusement la symétrie des deux systèmes, par rapport au plan médian perpendiculaire à la portion lombaire de la colonne vertébrale, plan sur lequel on projette idéalement la moitié céphalique et la moitié pelvienne des animaux vertébrés.

Voici comment je conçois que le parallèle doit être établi : Un Mammifère se compose de deux moities latérales symétriques, par rapport à un plan vertical passant par la colonne vertébrale et le sternum. Cette symétrie est évidente, même pour le vulgaire. Mais si nous imaginons un autre plan perpendiculaire à la colonne vertébrale, et placé au-dessous des fausses côtes, nous trouvons que dans tous les Mammifères (les Cétacés exceptés), les parties situées au-dessus et au-dessous ne sont pas symétriques de forme, mais symétriques de position : il y a donc symétrie bilatérale de position et de forme dans le sens horizontal ; symétrie de position seulement dans le sens vertical. La symétrie bilatérale est évidente aux yeux de tous ; pour que la symétrie, ou mieux la répétition des parties du squelette de l'homme de bas en haut, le devienne aux yeux des anatomistes, il faut élever verticalement les bras le long de la tête ; alors les membres supérieurs sont placés symétriquement par rapport aux inférieurs : la tête correspond au sacrum, l'épaule au bassin. Les bras étant élevés verticalement, il faut évidemment les supposer attachés à une épaule également *redressée*, non pas *mécaniquement*, mais *idéalement :* en effet, si l'on redresse l'épaule *mécaniquement*, la fosse sous-scapulaire devient externe, l'épine et l'acromion internes, ce qui rompt toute similitude et bouleverse toutes les affinités. Il faut donc redresser l'épaule géométriquement. On réalise parfaitement cette conception de l'esprit en plaçant un miroir au-dessous de l'omoplate d'un squelette, l'image réfléchie (*Spiegelbild* en allemand) est symétrique de l'omoplate réelle. C'est à cette image réfléchie qu'il faut comparer l'os des iles ; cette image est la représentation d'une omoplate *virtuelle*, *idéale*, que la nature n'a point exécutée, mais dont l'omoplate réelle est la réalisation symétrique. Si, en faisant

cette expérience, on laisse les bras du squelette pendre le long du corps, le miroir les redresse également, et nous les montre dans la position idéale d'un Mammifère *symétrique*, dont tous les organes se répètent au-dessus et au-dessous d'un plan horizontal. Nous voyons maintenant pourquoi la comparaison d'ensemble de Vicq-d'Azyr est excellente ; en effet, l'épaule gauche est symétrique de l'épaule droite ; donc, en comparant l'épaule *gauche* à l'iléon *droit*, il comparait, sans le savoir, cet iléon à une omoplate idéalement redressée au-dessus de l'omoplate réelle, dont il est la figure symétrique.

Après avoir fait l'expérience du miroir, le lecteur peut mettre l'épaule d'un côté, *renversée*, au-dessus d'un iléon de l'autre côté ; ou bien, ce qui revient toujours au même, placer à sa gauche un iléon du côté droit, à sa droite une épaule *renversée* du même côté : les faces externes des deux os seront en regard, et étudiées dans cette position par le spectateur placé entre deux. Les analogies deviennent alors évidentes. La cavité glénoïde est dirigée comme la cavité cotyloïde, l'angle inferieur de l'omoplate est en haut, le bord cervical en bas. Le bord axillaire répond au bord inguinal ou antérieur du bassin : le bord spinal à la crête iliaque, le bord cervical à l'échancrure ischiatique représentée par l'échancrure coracoïdienne. L'angle inférieur de l'omoplate, devenu supérieur, correspond à l'épine iliaque antérieure et supérieure ; son angle cervical à la tubérosité iliaque. La fosse sous-scapulaire est l'analogue de la fosse iliaque interne, la fosse sus-épineuse de la fosse iliaque externe, la sous-épineuse de la fosse antérieure que remplit le petit fessier, l'apophyse coracoïde est l'ischion, la clavicule le pubis. L'épine de l'omoplate et l'acromion n'ont point de représentants dans le bassin.

Justifions ces assimilations, et suivons d'abord comparativement d'avant en arrière la crête de l'os des îles, à partir de l'épine antérieure et supérieure, et le bord spinal de l'omoplate à partir de l'angle inférieur devenu supérieur de cet os. Les deux bords sont courbés et répondent à une fosse superficielle, celle du petit fessier à la hanche et celle du sous-épineux à l'épaule, puis la crête de l'iléon s'épaissit, et forme une espèce de facette inclinée en dehors ; cette facette correspond à la facette triangulaire, par

laquelle l'épine de l'omoplate commence sur le bord spinal de cet os : en arrière de cette facette, la crête iliaque se continue comme le bord spinal de l'omoplate : l'un limite la fosse sus-épineuse, l'autre la fosse iliaque externe ; enfin, l'angle cervical de l'omoplate correspond à celui de l'iléon qui s'articule avec le sacrum. L'on objectera peut-être que le sus-épineux, muscle plus petit que le sous-épineux, correspond mieux au petit qu'au moyen fessier : le principe des connexions nous enseigne le contraire. Le moyen fessier est en rapport avec l'échancrure ischiatique, comme le sus-épineux avec l'échancrure coracoïdienne. En devenant iléon, l'omoplate s'est élargie dans le sens transversal, et cet élargissement porte principalement sur la fosse sus-épineuse. Dans les animaux, la fosse sous-épineuse est loin d'être constamment plus grande que la sus-épineuse. Dans le Lion, le Léopard, le Lynx, le Renard, la Civette, le Blaireau, l'Oryctérope, les deux fosses sont égales. La fosse sus-épineuse est notablement plus grande que la sous-épineuse dans les Phoques, le Corsac (*Canis Corsac* L.), la Martre (*Mustela Martes* L.), le Serval, la Marmotte, l'Aï, le Pangolin, le *Megatherium* et la Peramèle à museau pointu. Dans les Lamantins, la fosse sus-épineuse est trois fois plus grande que la sous-épineuse.

Ainsi cet argument, tiré du plus grand développement de la fosse sous-épineuse et du muscle qui la remplit chez l'homme, est sans valeur, quoiqu'il ait trompé les anthropotomistes qui assimilent tous le moyen fessier au sous-épineux, et le petit fessier au sus-épineux.

La crête de l'omoplate et l'acromion se réduisent, sur l'os des îles, à cette saillie arrondie qui, partant de la facette triangulaire dont nous avons parlé, aboutit à la cavité cotyloïde et sépare le petit du moyen fessier, comme la crête de l'omoplate aboutit à la cavité glénoïde et sépare le sous-épineux du sus-épineux. Pour toutes les personnes familiarisées avec l'anatomie comparée, ce remplacement d'une crête par une saillie n'a rien de surprenant ; l'empreinte deltoïdienne de l'homme et des Singes devient une crête sur l'humérus du Phoque, de l'Aigle, du Caïman *d* (pl. II, fig. 6, 8, 9) et du Bœuf. D'ailleurs, la crête de l'omoplate et l'acro-

mion qui le surmonte ne sont pas des organes constants; l'acromion n'existe pas dans le Cochon, le Pécari, le Cheval et le Pangolin. Dans l'Éléphant, il est à peine indiqué et remplacé par un prolongement triangulaire de la crête, qui s'avance au-dessus de la fosse sous-épineuse. Dans le Phoque et le Lamantin, la crête disparaît presque totalement avec l'apophyse coracoïde; l'acromion se réduit à un tubercule peu saillant. Enfin, dans les Dauphins, le Narval, les Baleines, le Rorqual et l'Hyperodon, il n'y a plus la moindre trace de crête de l'omoplate, la surface de l'os est complétement unie.

Le bassin et l'épaule des Monotrêmes se ressemblent tellement, que l'un semble une simple reproduction de l'autre. Aussi chez l'Echidné (1), la crête de l'omoplate est-elle représentée par une saillie peu marquée, qui, partant du bord spinal de l'os, se dirige vers la cavité glénoïdale. Dans l'Ornithorhynque (2), animal amphibie, cette saillie même a disparu et l'omoplate est parfaitement lisse. La disparition de l'acromion dans l'os des iles n'a donc rien de surprenant; l'omoplate, os mince suspendu dans les chairs, est devenu une ceinture massive qui s'est élargie et épaissie aux dépens de l'organe absorbé.

Je ne crois pas avoir à justifier les autres rapprochements que j'ai établis entre l'épaule et le bassin : ils frappent pour ainsi dire les yeux quand on place un iléon en face d'une épaule *renversée*. Les insertions musculaires les confirment d'ailleurs d'une manière éclatante. La longue portion du triceps fémoral s'insère *au-dessus* de la cavité cotyloïde, comme la longue portion du triceps brachial s'insère alors également *au-dessus* de la cavité glénoïde. Le sous-scapulaire correspond à l'iliaque interne. Le sus-épineux recouvre l'échancrure coracoïdienne, comme le moyen fessier recouvre l'échancrure ischiatique, etc. La seule différence capitale entre les deux os, c'est le déplacement de l'articulation de la clavicule. L'acromion ayant disparu, l'extrémité externe de cet arc-boutant a été transportée de l'acromion à la face interne de la cavité cotyloïde;

(1) Cuvier, *Sur l'ostéologie des Monotrêmes*, dans *Recherches sur les ossements fossiles*, t. V, 1re part., p. 143, pl. XIII, fig. 1 et 6.

(2) *Ibid.* pl. XIV, fig. 1 et 6.

son épaisseur s'est accrue aux dépens de sa longueur, et elle a constitué la branche horizontale du pubis. Dans les Monotrèmes, où le bassin et l'épaule se ressemblent beaucoup plus que dans les autres Mammifères (1), l'os furculaire, analogue de la clavicule, s'appuie sur le bord antérieur de l'omoplate, qui se prolonge en forme d'apophyse située immédiatement au-dessus et en dedans de la cavité glénoïdale. On voit que c'est une position analogue à celle de la branche horizontale du pubis ; de plus, la crête de l'omoplate et l'acromion se réduisant, comme nous l'avons vu, à une saillie peu marquée dans l'Échidné, et disparaissant dans l'Ornithorhynque, l'analogie des deux ceintures osseuses est évidente.

Pour la position et la forme, la tubérosité ischiatique reproduit complétement l'apophyse coracoïde. L'espace compris entre cette apophyse et la cavité glénoïdale répond au trou sous-pubien ; mais dans le bassin, l'apophyse coracoïde se prolonge jusqu'au pubis sous le nom de branche montante de l'ischion. Le cartilage de la symphyse pubienne est l'analogue du sternum pelvien, avorté dans les Mammifères, développé dans le Crocodile et autres Reptiles.

En résumé, l'homologie de l'épaule et du bassin me paraît complète. Une ceinture osseuse massive, soudée à la colonne vertébrale, s'est renversée et transformée en un appareil léger, mobile, suspendu dans les chairs; quelques parties se sont allongées, amincies ; la branche horizontale du pubis est devenue la clavicule ; la fosse iliaque antérieure, la sous-épineuse ; la ligne saillante qui sépare les deux fosses iliaques externes, s'est développée en crête osseuse accidentée. D'un autre côté, en vertu de la loi de balancement des organes, la branche montante de l'ischion ne s'est pas développée ; l'apophyse coracoïde, diminutif de la tubérosité sciatique, a seule persisté. Au fond, les matériaux qui composent les deux appareils sont les mêmes, et pour les naturalistes qui admettent les adaptations fonctionnelles, l'épaule de l'homme est un bassin allégé, devenu mobile comme le membre dont il fait partie.

(1) Cuvier, *Sur l'ostéologie des Monotrèmes*, p. 143, pl. XIII, fig. 21, et pl. XIV, fig. 5.

### V. — Comparaison des muscles du membre pelvien et du membre thoracique chez l'homme.

Chercher à retrouver tous les muscles de la cuisse et de la jambe, dans le bras et dans l'avant-bras, est évidemment chose impossible : leur nombre n'est pas le même ; on en compte vingt et un à la cuisse et treize seulement au bras. Sur des apophyses manifestement homologues, telles que l'apophyse coracoïde et l'ischion, on trouve que la première donne attache à trois muscles, la seconde à sept. Peut-être la myologie comparée parviendra-t-elle un jour à découvrir l'homologue de chacun de ces muscles ; des divisions, des coalescences, des avortements, nous masquent probablement bien des analogies. Je me contenterai d'en indiquer quelques-unes, après avoir fait connaître les comparaisons faites par les auteurs.

Voici d'abord celles de Vicq-d'Azyr (1) présentées d'une manière synoptique. Dans cette comparaison, il s'est préoccupé des fonctions plus que des connexions et a admis des transpositions impossibles.

Tableau des muscles du membre thoracique comparés à ceux du membre abdominal, d'après Vicq-d'Azyr.

| MEMBRE ABDOMINAL. | MEMBRE THORACIQUE. |
|---|---|
| *Cuisse.* | *Bras.* |
| Grand fessier. | Deltoïde. |
| Psoas et iliaque. | Sous-scapulaire. |
| Moyen et petit fessier. | Sous-épineux. |
| Carré et jumeaux. | Sus-épineux. |
| Adducteurs. | Grand pectoral. |
| Pectiné. | Petit pectoral. |
| Muscle tenseur du *fascia lata*. | Grand dorsal. |
| *Jambe.* | *Avant-bras.* |
| Triceps crural. | Triceps brachial. |
| Biceps. | Biceps. |
| Demi-tendineux. | Coraco-brachial. |
| Crural? | Brachial antérieur ? |
| Poplité ? | Anconé ? |
| Jambier postérieur ? | Cubital antérieur ? |
| Jambier antérieur? | Cubital postérieur ? |
| Péroniers ? | Radiaux ? |
| Plantaire grêle. | Palmaire grêle. |

(1) Mémoire cité, dans ceux de l'*Académie des sciences*, pour 1774, p. 264.

Vicq-d'Azyr, comme on le voit, avait parfaitement compris l'analogie d'un certain nombre de muscles; mais pour des raisons que tout anatomiste comprendra, je ne saurais reconnaître avec lui le sous-épineux dans le moyen et le petit fessier réunis; le sus-épineux dans le carré et les jumeaux; le petit pectoral dans le pectiné; le grand dorsal dans le tenseur de l'aponévrose *fascia-lata* ni le biceps du bras dans le biceps de la cuisse : le premier s'insérant supérieurement au-dessus de la cavité glénoïde et à l'apophyse coracoïde, le second devrait se fixer au-dessous de la cavité cotyloïde et à l'ischion; or, il s'attache, il est vrai, par sa longue portion à l'ischion, mais par la courte à la partie inférieure du fémur; en bas, le biceps brachial se fixe au radius, le biceps de la cuisse à la tête du péroné, qui est la portion du cubitus représenté par l'apophyse coronoïde; or, c'est là que s'attache le brachial antérieur, qui est l'homologue véritable de la courte portion du biceps fémoral. Sa longue portion répond au coraco-brachial. C'est avec doute que Vicq-d'Azyr assimile le crural antérieur au brachial antérieur, l'aconé au poplité, le cubital antérieur au jambier postérieur, et le cubital postérieur au jambier antérieur. La préoccupation des fonctions l'a souvent induit en erreur, comme cela arrivera à tous ceux qui suivront ces guides trompeurs. Les fonctions sont le résultat et non le but; les lois qui président au développement des organes, supérieures aux adaptations fonctionnelles, les dominent et les déterminent; de là, l'inégale perfection de la fonction, qui s'accomplit plus ou moins bien dans le cercle que les lois de l'équilibre organique lui ont tracé.

Les auteurs qui depuis Vicq-d'Azyr ont comparé entre eux le squelette des membres de l'homme, n'ont point fait de parallèle détaillé des muscles. Ils se sont bornés à citer quelques insertions comme preuve de la vérité de leurs assimilations; ce sont, en général, des muscles, tels que le triceps, les fessiers, etc., dont l'analogie est évidente. Cependant Gerdy (1) voit le couturier de la cuisse dans le grand rond de l'épaule, sans justifier ce rapprochement (2).

(1) Note citée, page 50.

(2) Le grand rond de l'épaule correspond plutôt au tenseur de l'aponévrose crurale.

Blandin (1), croyant reconnaître le cubitus dans le tibia, se fonde sur ce que le long fléchisseur des doigts est un *cubito*-phalangettien, et le long fléchisseur des orteils un *tibio*-phalangettien ; le fléchisseur propre du pouce un *radio*-phalangettien, celui du gros orteil un *péronéo*-phalangettien. Nous expliquerons, dans notre parallèle, ces contradictions apparentes. Plus que jamais nous ne nous laisserons guider, dans cette comparaison, que par le principe des connexions ; pour les muscles, ces connexions, ce sont leurs attaches. Ce sont elles qui les caractérisent, quelles que soient leurs fonctions. Nous ne nous préoccuperons jamais si un muscle est en dehors ou en dedans du membre, fléchisseur ou extenseur, pronateur ou supinateur ; pour nous, le condyle interne du fémur sera le condyle fémoro-tibial, correspondant au condyle radial de l'humérus ; le condyle externe du fémur, le condyle fémoro-péronéal correspondant à la trochlée cubitale de l'humérus.

Le tableau suivant présente, en regard les uns des autres, tous les muscles *comparables* des extrémités supérieures et inférieures. Nous avons distingué par un astérisque les muscles homologues (voy. page 97), et mis en italique les insertions qui ne le sont pas dans deux muscles d'ailleurs analogues.

Tableau des muscles du membre pelvien comparés à ceux du membre thoracique de l'homme.

| CUISSE. | BRAS. |
|---|---|
| Grand fessier (iléo-sacro-fémoral) | Deltoïde scapulaire (sous-acromio-huméral). |
| * Moyen fessier (iléo-trochantérien). | * Sus-épineux (petit scapulo-trochitérien). |
| * Petit fessier (petit iléo-trochantérien). | * Sous-épineux (scapulo-trochitérien). |
| Pectiné (pubio-fémoral). | Portion claviculaire du grand pectoral. |
| Petit et moyen adducteur (pubio-fémoral). | Portion sternale du grand pectoral (sterno-huméral). |
| * Longue portion du biceps. | * Coraco-brachial. |
| * Triceps (tri-iléo-fémoro-rotulien). | * Triceps (tri-scapulo-huméro-olécranien). |
| * Courte portion du biceps (fémoro-péronien). | * Brachial antérieur (huméro-cubital.) |
| Demi-membraneux (ischio-popliti-tibial).<br>Demi-tendineux (ischio-prétibial). | Biceps (scapulo-coraco-brachial). |

(1) *Nouveaux éléments d'anatomie*, t. I, p. 208.

*Plan de la flexion.*

| JAMBE. | AVANT-BRAS. |
|---|---|
| * Poplité (fémoro-popliti-tibial). | * Rond pronateur (épitrochlo-radial). |
| * Jumeau externe (du condyle péronien au calcanéum). | * Cubital antérieur (épitrochlo-pisien). |
| ? Jumeau interne (du condyle tibial au *calcanéum*). | ? Long supinateur (épicondylo-*radial*). |
| * Plantaire grêle (du condyle péronien au calcanéum). | * Palmaire grêle (épitrochlo-palmaire). |
| Long fléchisseur commun des orteils (*tibio*-sous-phalangettien commun). | Long fléchisseur commun des doigts (*cubito*-sous-phalangettien commun). |
| Long fléchisseur propre du gros orteil (*péronéo*-sous-phalangettien commun). | Long fléchisseur propre du pouce (*radio*-sous-phalangettien du pouce). |
| Court fléchisseur commun des orteils (*calcanéo*-phalanginien commun). | Court fléchisseur commun des doigts (*épitrochlo*-sous-phalanginien commun). |
| Jambier postérieur (tibio-péronéo-sous-tarsien). | Grand palmaire (épitrochlo-métacarpien). |

*Plan de l'extension.*

| | |
|---|---|
| Ligament rotulien (pré-tibio-rotulien). | Anconé (épicondylo-cubito-olécranien). |
| Extenseur commun des orteils (*péronéo*-sus-phalangettien commun). | Extenseur commun des doigts (*épicondylo*-sus-phalangettien commun). |
| Long extenseur propre du gros orteil (péronéo-sus-phalangettien du gros orteil). | * Long extenseur propre du pouce (cubito-sus-phalangettien du pouce). |
| * Court péronier latéral (grand péronéo-métatarsien). | * Cubital postérieur (cubito-sus-métacarpien). |
| Jambier antérieur (*tibio*-sus-métatarsien). | Second radial (*épicondylo*-sus-métatarsien). |

| PIED. | MAIN. |
|---|---|
| Adducteur du gros orteil (*calcanéo*-phalangien). | Court abducteur du pouce (*scapho*-phalangien). |
| * Abducteur oblique du gros orteil (métatarso-phalangien). | * Adducteur du pouce (métacarpo-phalangien). |
| Court fléchisseur du gros orteil (*cunéi*-phalangien). | Court fléchisseur du pouce (*trapézo*-phalangien). |
| * Abducteur du petit orteil (calcanéo-phalangien). | * Adducteur du petit doigt (pisi-phalangien). |
| Court fléchisseur du petit orteil (*métatarso*-phalangien). | Court fléchisseur du petit doigt (*unci*-phalangien). |
| * Lombricaux (planti-phalangiens). | * Lombricaux (palmi-phalangiens). |
| Interosseux (métatarso-phalangiens). | * Interosseux (métacarpo-phalangiens). |

La comparaison des muscles des membres supérieurs avec ceux du membre inférieur de l'homme prête à quelques considérations

intéressantes. On reconnaît d'abord l'existence d'un certain nombre de muscles qui se répètent, ont les mêmes attaches, et sont par conséquent rigoureusement *homologues* (1). A la cuisse et au bras, on remarque : le moyen fessier et le sus-épineux, le petit fessier et le sous-épineux, l'iliaque interne et le sous-scapulaire, la longue portion du biceps fémoral et le coraco-brachial, les deux triceps, la courte portion du biceps fémoral et le brachial antérieur ; à la jambe et à l'avant-bras, le poplité et le rond pronateur, le jumeau externe et le cubital antérieur, le plantaire grêle et le palmaire grêle, le court péronier latéral et le cubital postérieur, le long extenseur propre du gros orteil et le long extenseur propre du pouce : au pied et à la main, l'abducteur oblique du gros orteil et l'adducteur du pouce, l'abducteur du petit orteil et l'adducteur du petit doigt, les lombricaux et les interosseux. Ces muscles ont à la fois les mêmes attaches et les mêmes fonctions au membre supérieur et à l'inférieur, sauf que les pronateurs et les supinateurs de l'avant-bras deviennent de simples fléchisseurs à la jambe ; les abducteurs du pied, des adducteurs à la main, et *vice versâ*.

La seconde catégorie de muscles sont les *analogues*, c'est-à-dire des muscles dans lesquels l'une des insertions est homologue, tandis que l'autre ne l'est pas. Tels sont le grand fessier et le deltoïde : l'attache supérieure n'est pas homologue, car la crête de l'os des iles ne correspond pas à l'épine et à l'acromion de l'omoplate ; mais cette épine ayant disparu, l'attache a été transposée. Le pectiné me paraît correspondre à la portion claviculaire du grand pectoral, surtout par son insertion pubienne. Le sternum n'existant pas, il est représenté par la symphyse du pubis ; voilà pourquoi je serais porté à comparer le petit et le moyen adducteur à la portion sternale du grand pectoral. C'est avec hésitation que j'assimile au biceps brachial le demi-membraneux et le demi-tendineux réunis ; cependant la longue portion du biceps brachial se fixe à la portion de la cavité glénoïde qui est formée par la base de l'apophyse coracoïde et la courte à l'extrémité de cette même apophyse ; le demi-tendineux et le demi-membraneux s'insèrent tous deux à la tubé-

(1) Je les ai marqués d'un astérisque sur ma liste.

rosité ischiatique, c'est donc une réunion des deux attaches pelviennes du biceps sur la base de l'os qui représente l'apophyse coracoïde. Les attaches inférieures sont homologues.

Pour le jumeau interne et le long supinateur, les deux insertions supérieures sont similaires, l'inférieure ne l'est pas ; cependant je crois ces deux muscles analogues. L'étude de la plupart des fléchisseurs et extenseurs des doigts et des orteils me confirme dans cette idée ; ces muscles, évidemment analogues, ont des attaches inférieures identiques; les supérieures ne le sont pas. C'est l'inverse dans les deux muscles dont nous parlons. Pour les extenseurs ou les fléchisseurs des doigts, tantôt il y a déplacement latéral, c'est-à-dire que le muscle qui à l'avant-bras se fixe au cubitus, se fixera au tibia à la jambe, et *vice versâ*. L'exemple le plus frappant sous ce point de vue est le *radio*-sous-phalangettien du pouce, qui à la jambe est un *péronéo*-sous-phalangettien du gros orteil. Il y a pour ce muscle transposition réelle de l'attache supérieure. Le long fléchisseur commun des orteils, comparé à son analogue du bras, semble être dans le même cas, puisqu'il s'insère au *tibia*, et que le fléchisseur commun des doigts se fixe au *cubitus*. Mais nous savons que le tiers supérieur de la moitié péronéale du tibia représente le cubitus. Or, c'est précisément dans cette portion que s'insère le muscle en question.

Le déplacement peut aussi se faire dans le sens de la longueur du membre ; ainsi le *péronéo*-sus-phalangettien de la jambe est l'*épicondylo*-sus-phalangettien de l'avant-bras ; le *calcanéo*-sous-phalanginien du pied, l'*épitrochlo*-sous-phalanginien de la main. Il est cependant impossible de méconnaître l'analogie de structure et de fonctions de ces muscles, auxquels l'usage a consacré les mêmes noms. Ils prouvent que les points d'attache ne sont point immuables, et nous enseignent qu'il ne faut pas donner une importance exagérée aux insertions musculaires, pour la détermination des parties osseuses correspondantes, puisque nous voyons deux muscles analogues, le fléchisseur superficiel des doigts et le court fléchisseur des orteils, s'insérer l'un à l'épitrochlée de l'humérus, l'autre au calcanéum.

Le grand palmaire et le second radial me paraissent reproduire

au bras les deux jambiers postérieur et antérieur, quoique les attaches ne soient pas identiques. Me pardonnera-t-on enfin d'assimiler le ligament rotulien au muscle anconé? J'y suis d'autant plus enclin, que : 1° les fibres musculaires et tendineuses se remplacent perpétuellement dans les animaux, et qu'inférieurement l'anconé s'insère précisément à cette crête cubitale qui reproduit si bien la crête rotulienne du tibia; 2° les fibres musculaires de l'anconé se continuent avec celles du triceps brachial, comme les fibres tendineuses du ligament avec celles du triceps fémoral; 3° son insertion à l'épicondyle est remplacée par le ligament rotulien interne, qui s'épanouit sur le condyle tibial du fémur, comme le tendon de l'anconé sur l'épicondyle de l'humérus.

En ne considérant que le système musculaire de l'homme, il est un certain nombre de muscles qui sont sans analogues évidents aux extrémités pelviennes et thoraciques. Au bras, le grand dorsal et le grand rond; à la cuisse, le pyramidal, les jumeaux, le carré crural, les obturateurs, le couturier, le tenseur de l'aponévrose *fascia lata*, et le droit interne; à la jambe, le soléaire, le long péronier latéral; à l'avant-bras, le carré pronateur, le premier radial, le court supinateur, le long abducteur du pouce, le court extenseur du pouce, l'extenseur propre de l'indicateur, et à la main quelques muscles propres au pouce ou à un seul doigt.

On voit qu'en se bornant même à l'anatomie humaine, le nombre des muscles propres à chaque brisure des extrémités, et sans analogues dans la brisure correspondante, est assez restreint. Il est très probable que l'anatomie comparée nous ferait trouver les analogues de ces muscles dans les Mammifères, ou même dans les autres classes de Vertébrés. M. le docteur Gratiolet s'occupe de ce travail, et je ne doute pas qu'il n'arrive aux résultats les plus curieux et les plus inattendus.

### Influence de la torsion de l'humérus sur l'appareil musculaire du bras et de l'avant-bras.

Si la torsion de l'humérus n'est point une illusion; si la nature a procédé virtuellement, comme l'eût fait un ouvrier en tordant mécaniquement cet os primitivement droit et semblable au fémur,

il est évident que cette torsion a dû déplacer les parties molles, comme elle a déplacé les parties solides. Nous devons donc trouver dans le système musculaire des preuves analogues à celles que nous avons puisées dans le système osseux. C'est en effet ce qui arrive.

Nous avons dit que la torsion de l'humérus portait principalement sur sa moitié inférieure. Elle s'est faite comme si, une main fixant la tête de l'humérus, l'autre avait tordu l'extrémité inférieure en dehors, de façon que le bord interne devienne externe, et *vice versâ*. Aussi, plus l'on descend de la tête de l'os vers son extrémité cubitale, plus les effets de la torsion sont visibles. En haut, elle n'en a eu d'autre que de donner à la gouttière bicipitale une direction légèrement oblique de dehors en dedans : voilà pourquoi les muscles qui s'insèrent à l'épaule et au bras ont la même position, la même direction et les mêmes effets mécaniques que leurs homologues de la cuisse. Le deltoïde est un élévateur et un rotateur en dehors, comme le grand fessier ; le sus-épineux et le sous-épineux rotateurs en dehors, comme le moyen et le petit fessier ; le sous-scapulaire rotateur en dedans, comme l'iliaque.

Mais au pli du coude, la torsion de l'humérus a changé tous les rapports : les fléchisseurs qui étaient en arrière de la cuisse, sont en avant du bras ; les extenseurs qui étaient au-devant des deux os de la jambe, sont en arrière de ceux de l'avant-bras ; de même, les muscles externes sont devenus internes, et réciproquement ; c'est une conséquence du mouvement de révolution de 180 degrés, imprimé à l'avant-bras et à la main par la torsion de l'humérus. Donnons quelques exemples : le jumeau *externe* qui s'attache au-dessus du condyle *péronéal* du fémur, est représenté par le cubital antérieur, muscle de la partie *interne* du bras qui s'attache à l'*épitrochlée*. De même le poplité qui s'étend du condyle *externe* du fémur au tibia, correspond au rond pronateur (*épitrochlo*-radial) qui se dirige de *dedans* en dehors. En parcourant le tableau des muscles analogues du bras et de la jambe, on rencontrera d'autres exemples de ce genre, comme le court péronier latéral et le cubital postérieur, le long extenseur propre du gros orteil et le muscle correspondant du pouce. A la main, mêmes changements, puisque

le gros orteil est en dedans du pied, et le pouce en dehors de la main. Ainsi donc, le système musculaire nous démontre *à posteriori* la réalité de cette torsion, dont la nature a imprimé la trace sur l'humérus, comme pour nous dévoiler le moyen, à la fois simple et rationnel, par lequel elle transforme le membre pelvien en membre thoracique.

### VI. — Comparaison des artères et des nerfs du membre pelvien et du membre thoracique chez l'homme.

#### Comparaison des artères.

Vicq-d'Azyr (1) a donné une excellente comparaison des artères de l'épaule et de celles du bassin, et indiqué l'analogie de l'artère crurale dans le creux du jarret, avec la brachiale dans le pli du coude. Mais pour lui la péronière répond à la radiale, et les tibiales antérieures et postérieures aux deux artères cubitales et interosseuses de l'avant-bras. Nous n'acceptons pas ces assimilations, conséquence des fausses analogies ostéologiques qu'il avait cru apercevoir entre le radius et le péroné, le cubitus et le tibia.

A la partie supérieure du bras, l'artère brachiale est placée comme la crurale, en dedans et en avant de la tête de l'os unique qui forme la charpente de la première brisure du membre thoracique ; mais la crurale contourne le fémur vers le quart inférieur de l'os, passe *derrière* lui pour se placer entre ses condyles, où elle prend le nom de poplitée. L'humérus étant un fémur tordu, son mouvement de rotation a eu pour effet de ramener les condyles en avant et d'entraîner l'artère qui, conservant les mêmes relations avec les parties osseuses, se trouve placée en *avant* dans le pli du bras.

La radiale répond à la tibiale postérieure, la cubitale à la péronière, les interosseuses de la jambe à celles du bras. On pourrait étudier ces analogies dans les branches secondaires ; comparer, avec Vicq-d'Azyr, la mammaire interne à l'épigastrique, les circonflexes de la cuisse à celles du bras, etc., et même poursuivre les rameaux correspondants jusque dans les muscles homologues,

(1) Mémoire cité, page 268.

analogues, ou ceux qui n'ont pas de représentant à l'un ou à l'autre membre ; ce serait une recherche curieuse : je ne la ferai pas ici, exprimant le vœu qu'elle tente le zèle de quelque jeune anatomiste.

### Comparaison des nerfs.

Vicq-d'Azyr fait observer d'abord (1) que les nerfs cutanés du membre thoracique naissent des paires cervicales supérieures, comme le crural, tronc cutané de la cuisse, naît des paires lombaires, qui sont supérieures aux paires sacrées. Les nerfs musculaires, au contraire, proviennent au bras des dernières paires cervicales et de la première dorsale ; à la cuisse, des paires lombaires et de la branche lombo-sacrée ; il compare donc le nerf crural et ses ramifications aux deux cutanés de l'extrémité supérieure, et le tronc sciatique aux médian, cubital et radial réunis. Mais Vicq-d'Azyr n'a pas tenté d'expliquer les singulières différences que présentent les nerfs du bras comparés à ceux de la cuisse ; nous allons essayer de le faire. Nous vérifierons ainsi, par un troisième appareil organique, le plus important de tous, la vérité du mode de transformation du membre inférieur en supérieur, que les systèmes musculaire et artériel ont déjà confirmé.

Le plexus des nerfs profonds du bras est situé entre la tête de l'humérus et l'apophyse coracoïde, comme le tronc sciatique entre la tête du fémur et l'ischion ; mais au bras, ce plexus est au-devant de la tête de l'os, au fémur il est en arrière ; au bras, le faisceau nerveux principal est en dedans et en avant du membre, à la cuisse il est en arrière. La différence est donc plus grande que pour l'artère principale qui, au bras comme à la cuisse, est en avant et en dedans de l'os dans la partie supérieure de son trajet, puis contourne le fémur en arrière pour devenir poplitée, et l'humérus en avant pour traverser le pli du bras.

Ces différences ne sont pas les seules (2). Un des troncs nerveux, le sciatique à la cuisse, le médian et le cubital au bras, sont,

(1) Mémoire cité, page 269.

(2) Il est clair que je néglige les petites branches qui, au haut de la cuisse comme au haut du bras, se distribuent dans les muscles voisins.

il est vrai, dans le plan de la flexion ; les deux autres nerfs, le crural antérieur à la cuisse, le radial au bras, dans le plan de l'extension. Mais à la cuisse, tous les nerfs principaux restent dans le plan où ils se trouvaient à leur origine. Au bras, au contraire, le médian et le cubital obéissent à cette loi, tandis que le radial quitte le plan interne dès le quart supérieur du membre, se dirige en arrière, contourne l'os en hélice, suivant sa ligne de torsion, y laisse l'empreinte de son passage, et ressort sur la face radiale de l'os, pour se distribuer aux muscles qui s'y insèrent. Tous les anatomistes ont été frappés de la singularité de ce trajet, qui ne s'explique ni par des conditions de symétrie, ni par des adaptations fonctionnelles; car, pour gagner les muscles de la partie externe du bras, le chemin le plus court du nerf était de passer entre le biceps et le brachial antérieur.

La torsion de l'humérus rend parfaitement compte de toutes les différences qui existent entre les systèmes nerveux du bras et de la cuisse. Cette torsion étant peu marquée à la partie scapulaire de l'humérus, le plexus nerveux a été peu déplacé ; il a seulement été reporté de la face postérieure à la face interne. Mais la tête cubitale de l'humérus ayant exécuté sur elle-même une révolution de 180 degrés, la moitié tibiale ou radiale qui se trouvait en dedans a été tournée en dehors, et le nerf radial, entraîné avec les muscles auxquels il se distribue, a dû contourner l'humérus en arrière. Les muscles de la partie interne ou cubitale, au contraire, ont continué à recevoir directement les rameaux du tronc nerveux, avec lequel ils sont restés en contact.

Je suis parvenu à réaliser mécaniquement la transformation de l'appareil nerveux de la cuisse en appareil nerveux du bras ; voici comment : Je fixe le chef d'un cordon noir *t* (pl. III, fig. 8) derrière un fémur du côté droit, entre les deux trochanters. Ce cordon représente le tronc sciatique ; je fixe son autre extrémité *s*, qui figure le sciatique poplité interne, entre les deux condyles fémoraux ; du milieu *m* de ce cordon en part un autre qui, s'attachant en *p* au condyle externe ou péronéal, simule le nerf poplité externe. Un autre cordon *r*, attaché en dedans du condyle interne ou tibial, représente le nerf crural. Je place ensuite le fémur sur une table

comme le représente la figure 8. Sa convexité est tournée en haut; le nerf sciatique et ses deux branches sont derrière l'os dans leur position naturelle. Un aide tient lâchement en *a* le cordon représentant le nerf crural, au-dessus de la tête du fémur. Les choses ainsi disposées, je fais tourner le fémur et le cordon représentant le nerf sciatique de 180 degrés, de manière que le point *r* prenne la place du point *p*, et réciproquement. L'effet de ce mouvement de rotation est représenté par la figure 9. Le sciatique *t*, suivant le mouvement de rotation, vient se placer devant l'os, au lieu de rester derrière, et l'extrémité inférieure du crural *a r*, que l'aide tient d'une main immobile, entraîné par le mouvement du condyle interne devenu externe, contourne le corps du fémur; par ce mouvement de rotation de 180 degrés, nous avons simulé la torsion qui transforme le fémur en humérus, et par cela seul nous avons aussi transformé le système nerveux de la cuisse en système nerveux du bras; le sciatique *t s* de la figure 8 est devenu le nerf médian *ts* de la figure 9; le poplité externe *mp* (fig. 8) est devenu le cubital; enfin, le nerf crural *a r* (fig. 8), forcé de contourner en hélice la face d'extension du corps de l'humérus, devient le radial *a r* de la figure 9.

En faisant tourner ainsi le fémur de 180 degrés sur son axe, il est clair que nous avons déplacé sa tête iliaque. Dans la torsion de l'os, ce déplacement n'aurait pas lieu et la tête *a*, marquée au trait dans la figure 9, occuperait la même position que celle de la figure 8; elle est censée n'avoir pas bougé, tandis que les condyles exécutaient leur mouvement de révolution. On peut, en le plongeant dans l'acide hydrochlorique étendu, ramollir le corps d'un fémur et le tordre réellement comme nous l'avons fait pour l'humérus (voyez la note de la page 57); il prend alors la forme de la figure 9, terminée par le col et la tête dessinés au trait, et rappelle par conséquent celle d'un humérus du côté droit entouré du système nerveux qui lui appartient.

Quand, sur le cadavre ou sur de belles planches, celles de Bourgery et Jacob par exemple (1), on considère comparativement les

(1) *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, atlas, t. III, pl. LIX et LXVII.

nerfs sciatique et crural d'un côté, le plexus brachial de l'autre, on voit à la cuisse deux troncs uniques émettant des ramifications qui se distribuent immédiatement dans les muscles auxquels ils sont destinés; le plexus brachial, au contraire, porte les traces de disjonction résultant de la torsion humérale. Les branches principales sont séparées dès le creux de l'aisselle et descendent jusqu'au pli du bras, sans fournir de rameaux aux organes environnants; cela est frappant surtout pour le nerf cubital, qui ne donne pas un seul filet aux muscles du bras (1).

En résumé, la torsion, et la torsion seule, rend compte des différences si notables et inexpliquées jusqu'ici, qui existent entre le système nerveux de la cuisse et celui du bras; réciproquement aussi, cette transformation d'un système dans l'autre est un dernier argument en faveur de cette torsion déjà démontrée par les modifications des systèmes musculaire et artériel.

Je crois inutile de justifier les assimilations des nerfs, telles qu'elles résultent de l'idée de la torsion; les anatomistes dirigés uniquement par la distribution des nerfs dans les muscles, les avaient déjà parfaitement reconnues. Meckel (2), Cruveilhier (3), et Sappey (4) retrouvent les nerfs du bras dans ceux de la cuisse. Ils constatent que, par suite des accolements de filets nerveux provenant des troncs voisins, chacun des nerfs du bras représente une portion de ceux de la jambe : ainsi le radial correspond à la portion musculaire du crural, tandis que la portion cutanée de celui-ci est représentée par les brachiaux cutanés interne et externe.

Le sciatique poplité interne représente le médian et une portion du cubital; mais je ne saurais, avec les deux derniers anatomistes que je viens de citer, assimiler le poplité externe ou péronier tout entier à la portion antibrachiale du radial. Pour moi le péroné étant le cubitus, le péronier est une portion du cubital.

(1) Bourgery, *Traité complet de l'anatomie de l'homme*, t. III, p. 263; Cruveilhier, *Traité d'anatomie descriptive*, t. IV, p. 516; Sappey, *Traité d'anatomie descriptive*, t. II, p. 348.

(2) *Manuel d'anatomie*, t. III, p. 152.

(3) *Traité d'anatomie descriptive*, t. IV, p. 587.

(4) *Traité d'anatomie descriptive*, t. II, p. 383.

La distribution des deux nerfs est différente, parce que le cubital reste dans le plan de la flexion, tandis que le péronier, contournant le col du péroné, se ramifie dans le plan de l'extension. Le cubital donne des rameaux collatéraux dorsaux aux trois derniers doigts, le médian, l'annulaire et le petit doigt, des rameaux palmaires aux deux derniers. Le péronier, au contraire, fournit des collatéraux dorsaux à tous les orteils. Malgré ces différences, je crois que le tronc du sciatique poplité externe représente surtout celui du cubital ; mais la portion antibrachiale de ce nerf et du radial trouve ses analogues dans le nerf saphène péronier et dans la branche musculo-cutanée ; le premier longe le péroné dans le plan de la flexion, comme le cubital, et se termine au dernier ou aux deux derniers orteils péronéaux ; la seconde se distribue aux quatre orteils tibiaux, comme le radial aux trois doigts radiaux. Ainsi le nerf poplité externe est, comme les autres, un nerf composé du cubital et d'une partie du radial. Cette opinion est aussi celle de Meckel, qui considère le saphène péronier, et de plus le plantaire externe, comme analogues du cubital.

En résumé, aucun des nerfs de la cuisse ne représente intégralement un nerf du bras tout entier ; les filets, en sortant des plexus, se sont répartis d'une manière différente pour former les troncs nerveux ; malgré cela, les grandes analogies subsistent, et l'un des systèmes nerveux n'est que la répétition de l'autre. Je ne poursuivrai pas plus loin ce parallèle, n'ayant rien à dire qui ne l'ait été déjà beaucoup mieux dans les traités que je viens de citer.

## RÉSUMÉ GÉNÉRAL.

### Fémur et humérus.

L'humérus est un os tordu sur son axe.

Cette torsion est de 180 degrés dans les Mammifères terrestres et aquatiques ; de 90 degrés dans les Chéiroptères, les Oiseaux et les Reptiles.

Dans l'homme et les Singes anthropomorphes, le col de l'os ne participe pas à la torsion de son corps.

Ce col est tordu de 90 degrés dans les Mammifères terrestres et aquatiques.

Conséquence : Dans l'homme et les Singes anthropomorphes, l'axe du col, celui du corps de l'os et celui de la trochlée, sont dans *un même* plan ; dans les autres Vertébrés, l'axe du col et celui de l'os sont dans un plan *perpendiculaire* à l'axe de la trochlée.

Cette torsion est *virtuelle ;* elle ne s'est jamais effectuée mécaniquement, pas plus que le renversement de certaines corolles et la rotation des cristaux hémitropes.

Pour comparer l'humérus au fémur qui est un os droit, il faut le détordre de 180 degrés ; par ce fait seul, on ramène le membre thoracique à son type de membre pelvien. Les cols, les condyles des deux os sont dirigés de même ; la rotule et l'olécrane sont en avant ; le tibia, le radius, le gros orteil et le pouce en dedans ; le péroné, le cubitus, le petit orteil et le petit doigt en dehors.

### Tibia et péroné.

Le chapiteau fémoral du tibia, dans les Mammifères monodelphes, est formé par la coalescence des têtes humérales du radius et du cubitus.

La face articulaire externe du tibia correspond à celle du cubitus, l'interne à celle du radius.

La rotule, homologue de l'olécrane, est fixée à la crête du tibia, homologue de la crête postérieure du cubitus.

Le tiers supérieur du péroné est représenté par la moitié antérieure ou coronoïdale du cubitus.

Dans quelques Marsupiaux : Phascolôme, Phalanger, Dasyure et Sarigue, la coalescence n'a pas lieu ; aussi, dans ces animaux, la rotule est-elle fixée au péroné.

Chez les Monotrèmes (Échidné, Ornithorhynque), une rotule tibiale et un olécrane péronier correspondent au double olécrane du cubitus.

Dans tous les Mammifères, les deux tiers inférieurs du tibia représentent la partie correspondante du radius, les deux tiers inférieurs du péroné celle du cubitus.

L'olécrane est une apophyse caractéristique des Mammifères terrestres ou amphibies ; elle manque dans presque tous les Mammifères exclusivement aériens ou aquatiques.

### Bassin et épaule.

La symétrie humaine, ou plutôt la répétition des parties du squelette par rapport à un plan horizontal passant par le nombril, n'est évidente que lorsque les deux bras sont élevés le long de la tête. Alors celle-ci correspond au sacrum, l'épaule au bassin, les membres thoraciques aux pelviens, les côtes aux intersections du muscle droit, etc.

Pour retrouver l'épaule dans le bassin, il faut donc comparer un ilion à l'image *symétrique* de l'épaule du même côté, telle qu'on la voit dans un miroir placé sous l'épaule réelle. Cela revient géométriquement à comparer cet ilion à l'épaule du côte opposé.

La crête de l'os des iles correspond au bord scapulaire de l'omoplate, la fosse iliaque externe à la sus-épineuse, l'interne à la sous-scapulaire, l'ischion à l'apophyse coracoïde, le pubis à la clavicule.

La crête de l'omoplate et l'acromion n'existent pas dans le bassin ; ils avortent également sur l'omoplate des Cétacés.

### Muscles des membres thoraciques et abdominaux chez l'homme.

Je distingue : 1° les muscles homologues, dont les deux attaches se font sur des points osseux homologues ; 2° les muscles analogues, dont une attache, ordinairement périphérique, est seule homologue ; 3° les muscles sans analogues actuellement connus.

Chez l'homme, la tête de l'humérus ne participant pas à la torsion du corps, les muscles homologues et analogues du bassin et de l'épaule ont la même position, la même direction et les mêmes fonctions. Muscles homologues : moyen fessier et sus-épineux ; petit fessier et sous-épineux. Muscles analogues : grand fessier et deltoïde scapulaire.

A la cuisse, la rotation de 180 degrés de la tête tibiale du fémur, devenue radio-cubitale de l'humérus, a transporté au plan postérieur les muscles du plan antérieur et *vice versâ*. Exemple : triceps crural et triceps brachial ; courte portion du biceps fémoral et brachial antérieur, etc.

A l'avant-bras, mêmes inversions. Les muscles externes de la

jambe deviennent internes ; les postérieurs, antérieurs. Exemple : jumeau externe et cubital antérieur, péronéo-sus-phalangettien du gros orteil et cubito-sus-phalangettien du pouce, court péronier latéral et cubital postérieur ; poplité et rond pronateur, etc.

### Artères et nerfs.

La torsion a également ramené en avant l'artère poplitée, qui devient la brachiale au membre supérieur : la cubitale répond à la péronière, la radiale à la tibiale postérieure. Enfin, si avec des fils on simule sur un fémur (pl. III, fig. 8) le système nerveux de la cuisse, savoir : le crural, le sciatique, le poplité externe et le poplité interne, puis qu'on retourne ce fémur de 180 degrés avec le sciatique, le système nerveux du bras apparaît (fig. 9). Le crural, devenu le radial, contourne l'os suivant le plan de l'extension ; le sciatique et les poplités externe et interne, devenus antérieurs, sont le cubital et le médian.

Ainsi les systèmes musculaires, artériels et nerveux du bras et de l'avant-bras confirment l'idée d'une torsion de l'humérus, car tous sont disposés comme ils le seraient sur un fémur dont les condyles auraient exécuté un mouvement de rotation de 180 degrés, la tête restant immobile fixée dans la cavité cotyloïde.

Les adaptations fonctionnelles seraient impuissantes à rendre compte des différences que nous avons signalées entre les membres thoraciques et abdominaux ; les fonctions sont le résultat de lois organiques supérieures qui les dominent et les déterminent.

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE II.

Fig. 1. Membre inférieur ou pelvien de l'homme du côté droit, vu par devant : *f*, fémur ; *b*, col du fémur ; *a*, tête du fémur ; *mm*, condyles du fémur ; *l*, rotule ; *p*, péroné ; *t*, tibia ; *d*, gros orteil ; *i*, petit orteil.

Fig. 2. Membre supérieur ou thoracique de l'homme du côté droit, vu par derrière : *h*, humérus ; *b'*, col de l'humérus ; *a*, tête de l'humérus ; *o*, olécrane ; *c*, cubitus ; *r*, radius ; *d*, pouce ; *i*, petit doigt.

Fig. 3. Membre supérieur de l'homme du côté gauche, vu par derrière : *m'*, épicondyle. Cette figure, mise en regard de la première, explique la comparaison de Vicq-d'Azyr.

Fig. 4. Membre supérieur de l'homme du côté droit, vu par devant, la main

étant en pronation. Cette figure, mise en regard de la première, explique le parallèle de M. Flourens.

Fig. 5. Membre supérieur de l'homme du côté droit, vu par derrière, l'humérus étant détordu : *e*, épitrochlée ; *f*, épicondyle. Cette figure, mise en regard de la première, explique la comparaison de l'auteur.

Fig. 6. Humérus du côté droit du Phoque (*Phoca monachus* Gm.), vu par sa face interne ; *a x*, axe du col ; *d*, crête deltoïdienne.

Fig. 7. Humérus du côté droit d'un jeune Chien, vu par sa face interne : *a x*, axe du col parallèle au plan du papier ; *t*, point d'insertion de l'axe de la trochlée perpendiculaire au plan du papier ; *c*, tubérosité externe devenue antérieure : *i*, tubérosité interne devenue postérieure.

Fig. 8. Humérus droit de Caïman (*Alligator Lucius* Cuv.).

Fig. 9. Humérus du côté droit d'Aigle, vu par sa face interne.

PLANCHE III.

Fig. 1. Humérus de l'homme du côté droit, vu par devant : *b*. col ; *a x*, axe du col ; *e*, tubérosité externe ; *i*, tubérosité interne ; *b y*, axe de la trochlée. Les deux axes sont parallèles au plan du papier.

Fig. 2. Membre postérieur gauche de Sarigue (*Didelphis Azaræ* Tem.) : *f*, fémur ; *t*, tibia sans crête rotulienne ; *p*, péroné articulé avec le fémur ; *l*, rotule péronéale.

Fig. 3. Membre postérieur du Phascolôme-Wombat, d'après Owen, *Principes d'ostéologie comparée*, pl. 14, fig. 16 : *f*, fémur ; *t*, tibia ; *p*, péroné ; *l*, rotule ; *c*, calcanéum.

Fig. 4. Membre antérieur du même Marsupial : *h*, humérus ; *r*, radius ; *c*, cubitus ; *o*, olécrane ; *p*, os pisiforme.

Fig. 5. Membre antérieur gauche de l'Ornithorhynque, d'après Cuvier, *Recherches sur les ossements fossiles*, t. 5, pl. 14, fig 1 : *h*, humérus ; *r*, radius ; *c*, cubitus ; *o*, olécrane double ; *l*, olécrane tibial ; *a*, olécrane péronéal.

Fig. 6. Membre postérieur gauche du même animal : *f*, fémur : *t*, tibia ; *l*, rotule tibiale ; *p*, péroné ; *a*, apophyse olécranienne du péroné.

Fig. 7. Articulation fémoro-péronéo-tibiale de Dasyure (*Dasyurus macrourus* Ét. Geoff.) : *f*, fémur ; *t*, tibia sans crête antérieure ; *p*, péroné articulé avec le fémur ; *l*, rotule péronéale.

Fig. 8. Fémur de l'homme du côté droit, vu par sa face antérieure : *a r*, nerf crural ; *t m*, tronc du nerf sciatique ; *m s*, sciatique poplité interne ou tibial : *m p*, sciatique poplité externe ou péronier.

Fig. 9. Le même fémur, vu par sa face postérieure après avoir décrit un mouvement de rotation de 180 degrés, pour simuler la torsion qui le transforme en humérus : *a*, position de la tête fémorale si l'os avait été *réellement* tordu ; *a r*, nerf radial ; *t p*, nerf cubital ; *t s*, nerf médian.

Ces deux figures sont destinées à montrer la transformation par la torsion, du système nerveux de la cuisse en système nerveux du bras.

# ÉTUDES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

# SUR UN DIPTÈRE TACHINAIRE,

PARASITE

## DE LA CHENILLE DU *SPHINX EUPHORBIÆ*

ET SUR SES MÉTAMORPHOSES,

**Par M. A. BARTHÉLEMY,**
Professeur au lycée de Toulouse.

Non loin de Lézignan (Aude), près du château de Caumont, est un léger cours d'eau, torrent en hiver, et dont les bords sablonneux sont garnis d'une très grande quantité de Tithymale. Le Sphinx, hôte naturel de cette plante, s'y trouve aussi en abondance.

C'est la Chenille de ce Papillon qu'a choisie en cet endroit, pour nourrir ses petits, un Diptère tachinaire de la division des *Sénoncétopies*, et qui m'a semblé devoir se rapporter, à peu de chose près, au *Senoncetopia atropivora*, espèce vivipare, comme le sont d'ailleurs tous les Tachinaires.

Souvent dans les journées de la fin du mois d'août, j'ai suivi, avec un intérêt facile à comprendre, les inquiètes évolutions de la mère, cherchant une victime propice, car toute demeure n'est pas favorable pour ces tendres objets de sa sollicitude ; si la Chenille est trop avancée en âge, elle pourrait faire son cocon avant l'entier développement du parasite ; et alors l'insecte ailé se réveillerait dans sa tombe, et paierait de sa vie l'imprévoyance maternelle.

Quelle que soit l'instinctive sagacité de la mère, ce fait arrive encore assez fréquemment. Souvent, après avoir épié en vain l'éclosion du Papillon, il m'est arrivé d'ouvrir le cocon, et d'y trouver les restes de plusieurs Mouches parasites, mortes après avoir rencontré les barrières infranchissables élevées entre elles et la liberté, mortes sur les débris de celui qui, seul, aurait pu leur ouvrir une issue.

Une fois la victime choisie, l'attaque est des plus simples; la

défense étant à peu près nulle, rien ne m'a indiqué que la Chenille eût le sentiment du danger qui la menace. La Mouche la chevauche en allant de la base vers la tête, et dépose avec rapidité ses larves tout le long du dos. La victime ne peut que relever le thorax en l'agitant assez vivement, ce qui m'a expliqué pourquoi les parasites sont surtout nombreux à la partie inférieure du corps, à la hauteur des pattes membraneuses. J'avais cru d'abord que c'était à cause de la position naturelle de la Chenille que les larves étaient déposées le long de la ligne dorsale ; mais j'ai dû me convaincre du contraire, lorsque, soit par hasard, soit par ruse, la Chenille tombe sur le dos, de manière à ne présenter que l'abdomen ; l'agresseur l'abandonne aussitôt, et dirige ailleurs son attaque. L'insecte saurait-il que la chaîne abdominale du système nerveux ne doit pas être lésée ? Ou bien y a-t-il dans le voisinage du tube circulatoire une condition nécessaire de développement, révélée par cette prescience qu'on appelle l'instinct?

Quoi qu'il en soit, c'est toujours vers le dos que les larves sont déposées quelquefois au nombre de dix ou de douze, après quoi la mère va recommencer les mêmes manœuvres vers une autre Chenille, jusqu'à ce qu'elle ait entièrement terminé sa ponte. Les petits êtres abandonnés à eux-mêmes se mettent aussitôt à l'œuvre ; ils perforent adroitement la peau de la victime, et prennent tous en ligne place au banquet. En vain la Chenille s'agite-t-elle, elle est impuissante à se débarrasser de ces hôtes qui s'imposent d'une manière si violente. Pour empêcher le sang de s'écouler, les Vers se gonflent de manière à former avec leur propre corps un bouchon à la plaie. Bientôt, à l'aide d'une espèce de soudure qui s'établit entre le parasite et la Chenille, le premier se trouve greffé, de manière que son dernier anneau communique avec l'extérieur, et fasse suite à la peau de l'Autosite dont il a la couleur noirâtre. Sur ce dernier anneau se trouvent deux plaques, au centre desquelles s'ouvrent deux stigmates, de sorte que l'animal, tout en puisant les sucs digestifs à l'intérieur, respire l'air extérieur. La Chenille se charge d'ailleurs des mouvements respiratoires : dans ses divers déplacements, elle tend et distend la peau de son dos, et ouvre et referme ainsi alternativement les stigmates. La

nécessité pour les larves de prendre l'air à l'extérieur peut expliquer peut-être la préférence accordée par la mère à la partie dorsale de la Chenille. Placés sous l'abdomen, les parasites n'auraient pu respirer le plus souvent que d'une manière imparfaite.

Du reste, une fois la greffe établie, la victime ne paraît souffrir en rien de la présence de ces hôtes. Sa vigueur ne semble pas diminuée, et il faut avoir l'œil exercé pour reconnaître à la couleur noirâtre de son dos qu'elle renferme des ennemis dans son sein.

Le Ver parasite change dans l'intérieur de la Chenille trois fois de peau, comme je crois l'avoir parfaitement constaté. A la dernière mue, il se détache, et, devenu libre à l'intérieur, ne tarde pas, saisi de cette faim impérieuse commune à tous les Insectes au moment des métamorphoses, à dévorer l'être qui l'a nourri jusque-là.

L'animal s'attaque d'abord aux organes intérieurs; puis, lorsqu'il ne reste plus que la peau, il la perce, et vient au dehors se transformer en chrysalide ou en pupe. Je m'étonnais tout d'abord que le Ver put vivre pendant quelques jours sans respirer dans l'intérieur de la Chenille, mais j'ai vu depuis quelques-uns de ces Vers résister plusieurs heures à l'action de l'alcool; M. N. Joly, notre savant maître, a constaté pour les larves des Œstres un fait analogue; et enfin, il y a quelques temps, le même savant m'a montré des larves de Mouches de la viande qui résistaient depuis plusieurs jours à l'action du sulfate de zinc. Tout le monde connaît l'observation de Franklin sur la vitalité de la Mouche elle-même : cet illustre physicien vit des Mouches enfermées depuis longtemps dans des bouteilles pleines de vin et cachetées revenir à la vie, après une courte exposition au soleil.

Notre parasite ne s'éloigne guère des débris de son dernier festin. Devenu immobile, il se durcit à la surface, de manière à se constituer avec sa propre peau une véritable coque. Là se termine l'histoire de son parasitisme, jusqu'à ce qu'il se réveille, insecte ailé, pour s'agiter à son tour dans ce cercle fatal, éternel, imposé par l'instinct.

## Anatomie de la larve.

La larve, considérée à l'extérieur, est blanche et ne présente pas de parties bien distinctes ; seulement une des extrémités rétrécie, et garnie de deux antennes bi-articulées, représente la partie céphalique, tandis que l'extrémité opposée, se terminant par une partie plane et un peu creuse, présente les deux plaques stigmatiques dont il a été question plus haut. Ces deux stigmates sont les deux seules ouvertures qui puissent donner accès à l'air. Les anneaux du corps ne sont que vaguement indiqués, et sont à peu près lisses sur leur bord. Le long du dos, on peut voir distinctement le tube circulatoire, et, par transparence, le tube digestif qui apparaît avec une couleur rouge orangé.

Le tube circulatoire semble s'étendre jusqu'à la partie postérieure de l'abdomen et se terminer à l'avant-dernier anneau ; à la partie antérieure, il devient de plus en plus fin jusqu'à la région céphalique, où il est à peu près impossible de suivre sa trace.

Ce tube digestif commence par deux crochets légèrement recourbés, crochets que l'on retrouve chez un très grand nombre de Dipteres, puis viennent des pièces cornées, dont le but et les analogies ne me sont pas bien connus ; à la suite, un œsophage, assez court, venant s'ouvrir à un bourrelet, sur lequel se rendent des ramifications trachéennes ; à l'œsophage viennent s'aboucher les canaux salivaires et le conduit du jabot. Ce tube digestif se dilate ensuite, et conserve désormais la même grosseur dans presque toute son étendue ; il est composé de deux membranes, dont la plus interne est pavée pour ainsi dire par des corps isolés, espèces de glandes qui se distinguent par leur transparence du reste de la membrane.

Les vaisseaux biliaires sont au nombre de quatre, fait général chez tous les Diptères, et s'ouvrent par deux canaux cholédoques dans le ventricule chylifique.

La longueur totale du tube digestif peut être estimée, à mon avis, à dix ou douze fois la longueur du corps. Ses nombreux replis sont maintenus en place par des ramifications trachéennes. C'est là,

d'ailleurs, une fonction de ces organes sur laquelle on n'a peut-être pas assez insisté, que de servir de suspenseurs pour ces viscères, et de remplacer les ligaments et les membranes d'union chez les animaux supérieurs.

Je n'ai pas besoin d'ajouter que le canal digestif atteint son plus grand développement à la troisième mue, c'est-à-dire au moment où l'animal doit dévorer la Chenille.

Le système respiratoire s'ouvre au dernier anneau postérieur par deux stigmates bordés de noir. Je n'ai point trouvé d'autres ouvertures stigmatiques, ouvertures dont la présence eût d'ailleurs été parfaitement inutile, puisque l'animal ne communique avec l'extérieur que par le dernier anneau. Il faut renoncer, pour le cas qui nous occupe, à l'ingénieuse idée de M. Léon Dufour, qui considère les stigmates du dernier anneau, dans la larve du Sarcophage, comme servant à l'introduction de l'air, tandis que ceux qu'il a décrits à la partie antérieure du corps serviraient à l'expulsion de ce fluide. De ces deux stigmates partent deux gros tronc trachéens, qui se ramifient à la partie antérieure en un très grand nombre de branches. Tout le long du corps, ces troncs envoient à la hauteur de chaque anneau des rameaux soit au tube digestif, soit au tronc cellulaire graisseux. Ce dernier tissu présente une complication assez grande, qui semble avoir frappé vivement M. Léon Dufour chez toutes les larves en général. J'avais surtout remarqué autour des ramifications trachéennes des cellules disposées en chapelet plus blanches que les autres, et souvent aussi plus développées. Dans mes notes de septembre 1856, ces cellules sont accompagnées d'un point d'interrogation. Aujourd'hui l'incertitude a disparu, grâce aux recherches de M. H. Fabre. J'ai constaté, en effet, que ces cellules contiennent de l'acide urique, caractérisé par la dissolution à froid dans l'acide azotique, et par la coloration rouge qui se produit, lorsque après avoir évaporé la dissolution à siccité on y verse une goutte d'ammoniaque. Seulement ici la respiration cutanée étant nulle, les cellules urifères ne se trouvent pas sous la peau, mais seulement autour des trachées respiratoires.

Quant au système nerveux, il m'a paru trop semblable à celui

de la Sarcophage et des Tachinaires, décrit par M. Léon Dufour, pour que je surcharge mon récit d'une description qui ne serait qu'une simple répétition. Je renverrai donc pour cette partie au travail de ce savant naturaliste, inséré au tome IX des *Mémoires de l'Institut*, ou à ses *Études anatomiques et physiologistes sur les Diptères* qui se trouvent au tome XI du même recueil.

### Métamorphoses. — Pupe. — Nymphe.

Les idées des auteurs me semblent encore bien peu fixées sur la nature des métamorphoses.

Les anciens naturalistes, Aristote, Pline, Gesner, etc., s'étaient contenté de constater le fait merveilleux de cette transformation d'un Ver qui rampe en un insecte ailé. Swammerdam (1), Malpighi, Réaumur (2), ont été plus avant dans le cœur de la question; mais ils sont dominés par la théorie du développement, et, reculant devant l'évidence, ne peuvent pas admettre que, sur des organes déjà formés, d'autres puissent prendre naissance. Aussi sont-ils amenés à cette étrange conclusion que l'insecte parfait est tout entier contenu dans la larve qui la protége, comme le ferait un fourreau vivant.

Réaumur, le conteur ingénieux et charmant, est ici d'une incroyable obscurité. A chaque pas, il tombe sur la lumière, et à chaque pas il refuse de la voir. Qu'on me permette de le citer; j'ouvre la page 374, et je lis : « Ce mémoire que nous finissons » nous a déjà appris que la nature, pour conduire un Papillon à » être un animal parfait, emploie autant de parties que les *con-* » *structions de deux animaux différents* en sembleraient deman- » der, et que c'est par des *retranchements considérables*, les uns » faits lentement, les autres peu à peu, que l'insecte, d'abord trop » composé, parvient à être Papillon. »

Plus haut, page 363, on lit : « La Chenille et le Papillon ne font

(1) *Collection anatomique*, t. V, p. 439.

(2) *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes.*

» qu'un ; la Chenille hache, broie, digère les aliments qu'elle » distribue au Papillon qui les suce, comme les mères préparent » ceux portés au fœtus. »

Singulière et mystérieuse dualité dans l'unité! Deux êtres vivant l'un dans l'autre, et qui ne sont qu'un seul et même individu! La nature nous a-t-elle habitué à un pareil luxe? La voyons-nous jamais rétrograder ainsi d'un organisme plus compliqué à un autre plus simple? Non, et ce serait l'accuser d'inconséquence, de prodigalité déplacée, que d'accepter de pareilles idées.

« Donnez, dit encore le célèbre naturaliste, des pattes et des ailes au ver de la Mouche, et vous aurez l'insecte parfait. »

Oui, si l'on segmente son corps de manière à lui donner tête, thorax et abdomen distinct; si l'on change son système cutané; si l'on modifie son appareil respiratoire, son système nerveux, son tube digestif, en un mot, si l'on refond tout l'animal.

Autre part, page 364, loin de blâmer l'opinion d'Harvey qui considère la Chrysalide comme un œuf, il dit que l'on peut regarder la Chenille elle-même comme un œuf d'une espèce particulière. Cette dernière opinion ne peut évidemment concorder avec les précédentes qu'en admettant l'idée de développement du germe, et en rejetant l'épigénèse.

On a de Lyonnet un travail posthume sur ces métamorphoses; Newport a décrit les trois états du *Sphinx ligustri;* Pictet, dans sa *Monographie des Phrygones*, décrit avec soin la larve et la nymphe. Hérold a suivi les métamorphoses du Papillon du chou, mais la petitesse du sujet, comme il l'avoue lui-même, et certaines difficultés mécaniques l'ont empêché de traiter cette question avec la profondeur que son talent pouvait faire espérer. Il combat cependant les idées de Swammerdam et de Réaumur. J'arrive au travail qui se rapproche le plus de mon sujet, à celui de M. Léon Dufour sur la Mouche de la viande.

Pour ce célèbre observateur, c'est une organisation toute nouvelle qui succède à une organisation qui s'en va :

« C'est une sorte de *génération spontanée* dont le produit ne

» représente en rien l'individu d'où il émane. Cette création s'im-
» provise comme par enchantement, etc. (1). »

Quelle que soit ma respectueuse admiration pour ce savant dont le scalpel a dévoilé tant de beautés inconnues jusqu'à lui, je ne puis partager entièrement ses idées.

Pour moi, ainsi que pour la plupart des physiologistes de l'époque actuelle, l'insecte et sa larve ne sont pas deux êtres profondément distincts l'un de l'autre. La métamorphose n'est point, ne peut pas être une *génération spontanée*, mais un complément du travail embryogénique. En effet, l'insecte parfait contient toutes les parties de la larve, et c'est par création de nouvelles parties et non par des retranchements successifs, comme l'avance Réaumur, que se produisent les diverses morphoses. Ce n'est point un retour du composé au simple, mais bien une progression du simple au composé. En un mot, les métamorphoses ne sont qu'une *seconde embryogénie* dont toutes les phases s'expliquent par les mêmes lois que la première : *épigénèse*, *équilibration des organismes*, *conjugaison des organismes*, etc.

Jusqu'à l'époque de ces transformations, l'insecte vit exclusivement pour lui-même. La vie de l'individu est la seule en activité. A la chrysalide commence la vie de l'espèce, vie impérieuse qui appelle à elle la majeure partie des forces organiques, et qui, chez les insectes qui ne se nourrissent pas, doit régner d'une manière presque exclusive jusqu'à la mort.

Il en est ici comme des végétaux où nous trouvons ces deux existences si complétement séparées; aussi Swammerdam a-t-il raison de comparer la chrysalide à une fleur en bouton.

A ce propos, il me semble que dans la classification des insectes, on ne tient pas suffisamment compte des affinités des larves entre elles. Ne s'appuyer presque exclusivement que sur l'insecte parfait, c'est commettre la même faute que de se baser en botanique

(1) *Etudes anatomiques et physiologiques sur une mouche, dans le but d'éclairer l'histoire des métamorphoses de la prétendue circulation des insectes* (*Mem. de l'Institut*, 9). Voir aussi *Sur les larves fongivores des Diptères* (*Ann. des sc. nat.*, 1839).

exclusivement sur la fleur; et c'est ici le lieu de se demander avec de Candolle, quelle est la plus importante de la vie de l'individu ou de la vie de l'espèce. Il y a là un sujet de recherches que j'aborderai peut-être un jour. Revenons à notre insecte :

L'ancienne peau de la larve s'est à peine indurée, qu'il s'en forme en dessous une nouvelle; de sorte qu'au bout de peu de temps, l'animal devient libre à l'intérieur de cette singulière demeure. La nouvelle peau se détache de l'ancienne d'abord par le milieu, les extrémités restant encore quelque temps soudées, ce qui produit la segmentation. Cela constitue une quatrième mue, et la forme qui succède est l'analogue de la forme de chrysalide chez les Lépidoptères. Ici, on aperçoit, en effet, vaguement la forme que devra avoir l'insecte parfait : les nouveaux organes, les pattes et les ailes se montrent sous forme de fourreau, une vague segmentation annonce les trois parties, tête, thorax et abdomen. C'est à la fois le Ver et l'insecte. Cette *nymphe confirmée* a du Ver les *stigmates* qui paraissent encore à la partie anale sous forme de deux points noirs, le *système respiratoire* qui a rejeté, comme cela a lieu dans presque tous les changements de peau, sa membrane interne que l'on voit sous forme de filaments argentés à l'extrémité de l'abdomen, le *système nerveux* qui chez la Mouche de la viande descend, à ce qu'il paraît, à la partie thoracique, et qui chez celui qui nous occupe ne subit pas de déplacement sensible; enfin en avant de la tête sont deux organes bi-articulés que M. Léon Dufour veut regarder comme des organes nouveaux présidant à une fonction inconnue, et dans lesquels il me paraît cependant difficile de ne pas reconnaître, d'après leurs connexions et leurs formes, les analogues des antennes bi-articulées de la larve. Elle a de la Mouche les pattes ébauchées, les ailes rudimentaires, la forme générale du corps. Quant au tube digestif, il ne m'a paru modifié que dans ses parties accessoires; je n'ai point remarqué que l'extrémité de l'œsophage fût libre, et il me semble qu'il vient s'insérer à la base de la gaine où vont se former les pièces de la bouche. Dans l'intérieur on trouve une substance d'abord incolore, qui deviendra rouge par la suite, et qui semble un réservoir de substance nutritive. Serait-ce cette substance, dont on peut con-

stater la présence aussi dans la chrysalide du Papillon, que Swammerdam regarde comme le reste de l'ancien estomac, et sur la nature duquel M. Léon Dufour paraît n'avoir que des idées peu arrêtées. Les vaisseaux biliaires n'éprouvent aucun changement, et les mandibules sont restées adhérentes à la coque comme les mandibules de la Chenille à chaque mue restent adhérentes à la peau qui tombe. Je n'ai d'ailleurs jamais constaté cet instant où, suivant M. Léon Dufour, l'organisation de la larve semble anéantie pour permettre à un nouvel être de se former sur ses débris. A quelque époque que j'aie disséqué la nymphe, j'ai toujours trouvé les divers organes dont je viens de parler. Seulement les fonctions de quelques-uns de ces organes étant provisoirement suspendues, et les forces vitales étant détournées sur un autre point, il s'ensuit que quelques-unes de ces parties deviennent plus faibles, comme cela a lieu pour quelques annexes du tube digestif, le jabot par exemple. Mais ce qui doit surtout attirer notre attention, c'est la constance du système respiratoire et du système nerveux qui ne subissent point de pertes, mais vont acquérir, au contraire, de nouvelles parties.

Les ganglions céphaliques se renflent de chaque côté pour former les yeux. Ces derniers organes, dans le premier état de la nymphe, se traduisent au dehors par deux simples bosses blanches, comme toutes les parties du corps.

Mais bientôt, sous cette enveloppe blanche, on voit se développer, s'organiser de nouvelles parties. Ces pattes, dans leurs gaînes, présentent d'abord une vague segmentation, qui ne tardera pas à se transformer en de véritables articulations ; à leurs extrémités sont deux bourrelets recouverts chacun d'une griffe. Sur ces ailes se dessinent des nervures composées de ramifications trachéennes libres. En dessus et en dessous des ailes se trouvent deux boutons. Les deux inférieurs (ou postérieures) représentent évidemment les balanciers; quant aux deux supérieurs (ou antérieures) que représentent-ils ? Les deux épaulettes qui existent chez les Lépidoptères sans aucun doute. Mais si l'on admet que les balanciers sont des ailes avortées, il faudra admettre la même analogie pour ces deux boutons supérieurs, et regarder le

type hexaphère comme primitivement général chez les insectes. Ces deux organes ne tardent d'ailleurs pas à disparaître, comme l'a très bien remarqué M. Léon Dufour. Sur le thorax, on voit se former cinq lignes de poils qui persisteront chez l'insecte parfait. Le derrière de la tête présente aussi des poils dirigés des côtés vers la ligne médiane. L'abdomen, qui est sillonné par trois lignes transversales, se couvre aussi de poils espacés. Les yeux se colorent en rouge tout en paraissant simples à leur surface. Enfin à la partie antérieure de la tête se forment les antennes, à trois articles repliés, dans une espèce de creux et sur deux pièces noirâtres qui se trouvent au-dessus des pièces de la bouche. Ces derniers organes se forment eux-mêmes dans une gaîne située à la partie inférieure de la face. On y distingue une lèvre inférieure prolongée en trompe, et terminée par une espèce de suçoir. Les deux bords de cette lèvre écartés laissent voir deux pièces réunies formant stylet, et que je n'ai pu m'empêcher de comparer aux crochets de la larve ; deux corps minces et allongés de chaque côté de la lèvre inférieure, et enfin deux poils longs et roides partant de la base de la coupe où sont renfermées les antennes. La lèvre supérieure est rudimentaire. A l'extrémité de l'abdomen, au dernier anneau, est un liquide incolore, lymphe organisable, où se forment les organes génitaux externes. Enfin sur les parties latérales apparaissent les nouveaux stigmates : deux au premier et au troisième anneau thoracique et deux à chaque anneau abdominal ; quant aux deux stigmates qui existaient chez la nymphe au dernier anneau, ils m'ont paru se réunir en un seul de couleur jaunâtre.

Voyons maintenant quelles sont les modifications subies par les organes intérieurs.

Le tube digestif présente un ventricule chylifique plus distinct que dans le premier état, et commençant toujours par un bourrelet où vient s'insérer l'œsophage. Ce ventricule forme en se rétrécissant un peu des replis dans l'abdomen, et se termine à une espèce de valvule pylorique, au-dessus de laquelle s'insèrent les vaisseaux biliaires toujours au nombre de quatre, et se réunissant en deux canaux cholédoques. L'intestin, un peu plus étroit que le ventricule, se dilate au rectum pour former une veine analogue à

celle que l'on trouve chez les Lépidoptères. Dans cette vessie se sont formés quatre boutons pyramidaux, dans l'intérieur desquels pénètrent des rameaux trachéens. La vessie est séparée du rectum par des pièces noirâtres qui doivent agir comme une valvule, dont cependant je n'ai pu constater le jeu. Les quatre boutons me paraissent, par l'air qui y pénètre, devoir présider à la formation de l'acide urique que la Mouche rejette à l'époque de son éclosion. C'est, en effet, surtout dans cette partie du tube digestif que l'on trouve cet acide formé aux dépens de la matière nutritive rougeâtre, enfermée dans le ventricule. Les glandes salivaires sont filiformes, et le jabot est vaguement bilobé.

Le système respiratoire subit quelques modifications : à l'extrémité de certaines trachées, on voit se former des vésicules pleines d'un liquide amorphe qui, par formation de cellules à leur intérieur, finiront par constituer les espèces de ballons dont sera rempli le corps de l'insecte parfait. A la hauteur de chaque anneau se forme un renflement qui, en se continuant jusqu'au stigmate, deviendra un nouveau tronc trachéen recevant l'air de l'extérieur.

En même temps que ces divers changements, s'effectue le développement des organes génitaux :

J'ai cherché, mais en vain, s'il n'y aurait pas dans la larve un rudiment de l'appareil génital interne, comme on en constate chez les Chenilles. Je n'ai pu en distinguer au milieu du chaos que présente le tissu cellulaire graisseux. Dans la nymphe, à l'état de perfection où nous la considérons, le tissu cellulaire étant plus rare, il est plus facile de suivre le développement de ces organes. Cependant je ferai remarquer que, chez quelques Tachinaires, les testicules sont surmontés par une espèce de bourse vide, décrite par M. Léon Dufour, bourse qui pourrait parfaitement être le résidu d'une espèce de capsule génitale dans la larve.

Dans la nymphe, l'organe mâle et l'organe femelle présentent d'abord une forme à peu près identique. Ce sont deux corps ronds et un peu plats, colorés chez les mâles, incolores chez les femelles, et venant s'insérer, par un filament assez court, à une cavité allongée et d'abord étroite. Bientôt, chez les femelles, les filaments qui supportent les ovaires s'allongent, et la cavité se dilate pour

constituer une espèce de matrice. De chaque côté de cette matrice, et à la partie supérieure, les réservoirs séminaux se montrent sous forme de deux masses transparentes qui s'affermissent peu à peu. En même temps, entre les deux canaux des ovaires, apparaissent les orbicelles constituant l'appareil sébifique. Dans l'intérieur des ovaires, on voit des filaments présentant une suite de renflements qui ne sont autre chose que les œufs en voie de formation. A la partie inférieure, la matrice s'ouvre à la base du tube digestif. Une trachée contourne l'ovaire et le soutient tout en y portant l'air nécessaire; deux troncs trachéens, disposés de chaque côté de la matrice, envoient à cet organe un très grand nombre de canaux aérifères, de sorte que les œufs, collés avant leur éclosion sur les parois de la cavité où doit se faire l'incubation, reçoivent une très grande quantité d'air; ce fait physiologique semble avoir échappé à M. Léon Dufour.

Chez le mâle, à la naissance du canal éjaculateur qui remplace la matrice de la femelle, se développent deux *vésicules séminales* très analogues aux réservoirs séminaux. L'organe génital externe offre une frappante ressemblance avec celui du Papillon : une pièce cornée formée de deux parties soudées sur la ligne médiane, deux crochets latéraux appelés, assez improprement à mon avis, *forceps*, et enfin, sous la pièce cornée, le fourreau du pénis garni à sa base de quatre petites pointes.

Pendant que ces organes se développent ou s'affermissent, les téguments extérieurs prennent de la consistance, et revêtent leurs livrées définitives. Les yeux, toujours colorés en rouge, se divisent en facettes; les ailes, garnies de poils courts et roides sur leur bord, présentent à leur surface les nervures destinées à distribuer l'air à leur intérieur; quelques mouvements vagues indiquent le retour des fonctions de relation; puis, lorsque tous les organes sont disposés pour la nouvelle existence qui se prépare, le voile se déchire, la fleur est éclose. Quelques coups heurtés contre la coque suffisent pour ouvrir une issue, et l'insecte, après quelques instants d'immobilité, essaye ses ailes et s'envole pour « s'enivrer de parfum, de lumière et d'azur. »

Par ce rapide aperçu, on a pu voir que les anciens organes ne

subissent en réalité pour la plupart que des changements successifs, des modifications appropriées au nouveau genre de vie auquel l'animal est destiné, tandis que de nouveaux organes, dont la présence eût été inutile à la larve, se forment de toute pièce.

Le premier état de l'insecte n'est donc ni un fourreau, ni un masque, cachant des organes qui n'auraient besoin que de se raffermir, mais bien un type d'organisation inférieur, qui doit s'élever à un degré supérieur par des modifications successives.

Cette seconde embryogénie présente cela de remarquable que, presque toujours, le premier état de l'individu rappelle une classe d'êtres inférieure à celle de l'animal parfait.

Les Batraciens n'ont-ils pas tout d'abord une organisation presque semblable à celle des Poissons? La larve de la plupart des Coléoptères et de tous les Lépidoptères ne rappelle-t-elle pas, par la fusion du thorax et de l'abdomen, le type des Myriapodes? Et celle des Hyménoptères et des Diptères, le plus souvent apode ou munie à peine de tubercules locomoteurs peu distincts, ne se rapproche-t-elle pas beaucoup des Annélides, des Vers proprement dits?

Remarquons encore que, pendant longtemps, on a rapporté à des espèces distinctes et de plus en plus parfaites les diverses métamorphoses que subissent les Vers intestinaux depuis l'état de simple vésicule jusqu'à celui de Tænia, et que, dans les générations alternatives qui se rapprochent à beaucoup d'égards des métamorphoses, l'être transitoire appartient le plus souvent à un ordre, ou même à une classe inférieure à celle de l'animal qu'il doit reproduire.

# DU ROLE

DES

# PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DU SANG

DANS L'ABSORPTION OU LE DÉGAGEMENT

## DES GAZ DE LA RESPIRATION,

**Par M. Émile FERNET.**

L'étude chimique et physique du sang a fait, depuis un demi-siècle, des progrès considérables, sans lesquels l'histoire physiologique complète de ce liquide serait demeurée impossible. Une des conséquences de la précision apportée par la chimie moderne dans les procédés d'analyse a été de montrer que le sang est, chez les animaux supérieurs, le liquide le plus complexe de l'économie animale; ce résultat, qui aurait pu être prévu *à priori*, puisque le sang doit à la fois porter les matériaux nécessaires à la nutrition dans des organes de natures si diverses et fournir les éléments de tant de sécrétions différentes, doit faire pressentir une semblable complexité dans chacune des phases de son action physiologique. Au point de vue physique, chaque perfectionnement apporté à la micrographie depuis Leeuwenhoeck a fait découvrir quelque nouvelle particularité de structure dans les différents corpuscules qu'il tient en suspension : la constitution de ces globules, les changements d'aspect qu'ils éprouvent sous l'influence des différents réactifs, et des gaz en particulier, prouvent évidemment que leur structure physique elle-même doit avoir une importance dans les fonctions du fluide nourricier, et spécialement dans l'absorption ou le dégagement des gaz qui interviennent dans les phénomènes respiratoires. D'un autre côté, on a mesuré et analysé, avec autant de précision que les connaissances actuelles permettent d'en apporter dans les procédés, les gaz absorbés ou dégagés pendant la respiration par l'homme et par un certain nombre d'animaux à l'état normal.

Comme complément de ces analyses générales, on a cherché à constater si, aux divers états pathologiques ou aux différents modes d'alimentation, ne correspondraient pas quelques variations dans les divers éléments du sang. Le résultat de ces recherches a été de montrer déjà que, dans la plupart des cas, les troubles apportés dans l'économie animale ou les changements d'alimentation sont accompagnés de modifications qui portent surtout sur les proportions relatives des éléments. Ces modifications, souvent considérables, quelquefois si faibles qu'elles dépassent à peine la limite des erreurs inévitables d'analyse, n'ont encore été étudiées avec précision que dans un petit nombre de cas : les données actuelles sont seulement suffisantes pour indiquer la tendance générale des phénomènes. De même, on a analysé les gaz de la respiration dans quelques-unes de ces circonstances; mais on n'a que des notions très incomplètes sur la connexion qui peut exister entre ces deux ordres de résultats.

Enfin, le sang n'offre pas une composition identique, même chez les animaux supérieurs, et chez ceux qu'on a rapprochés les uns des autres dans les classifications. La comparaison des diverses classes, quelquefois même celle des genres qui sont voisins par l'ensemble de l'organisation, mais non par le mode d'existence, montre, sous ce rapport, des différences très grandes. Bien que nos connaissances à cet égard soient encore fort incomplètes, surtout pour ce qui regarde les animaux inférieurs sur lesquels nous n'avons que quelques analyses isolées, elles sont cependant suffisantes pour faire pressentir une liaison entre les différents éléments du sang et le genre de vie de l'animal. Ici encore, on possède quelques analyses comparatives des produits de la respiration, mais on manque des données nécessaires pour tirer de ces observations, faites indépendamment les unes des autres, des conclusions précises.

Quelles que soient donc les lacunes qui restent à combler dans les études d'analyse, l'histoire physiologique détaillée des parties constituantes du sang est beaucoup moins avancée encore. Quels sont, parmi les éléments qu'il contient, soit en suspension, soit en dissolution, ceux qui interviennent plus spécialement dans chacune

de ses actions pendant la vie? C'est là une question à laquelle il est impossible de répondre d'une manière complétement satisfaisante dans l'état actuel de la science, et dont la solution générale ne peut être donnée que par une série de recherches particulières sur chacun des rôles du fluide nourricier. J'ai cherché spécialement à apporter quelque lumière dans une partie limitée de cette question, l'influence qu'exercent les diverses parties constituantes du sang sur l'absorption ou le dégagement des gaz de la respiration.

Les propriétés vivifiantes du sang, qui agissent dans la profondeur même des tissus, et dépendent surtout de la nature des gaz qu'il contient, paraissent liées de la façon la plus intime à la présence et à l'état des globules. En est-il de même au point de vue de la respiration proprement dite, c'est-à-dire de l'introduction des gaz extérieurs dans l'économie animale, et du dégagement des gaz expulsés? Quelle est la nature de l'action exercée par le sang sur ces gaz? Quel est, dans cette action générale, le rôle spécial de chacun de ses éléments? Quelles sont les modifications du sang dont le résultat immédiat doit être une perturbation dans la fonction de respiration? Telles sont les questions principales sur lesquelles j'ai cherché à obtenir quelques données précises.

Des expériences de Spallanzani, de W. Edwards, de Magnus, de M. Marchand, de MM. Regnault et Reiset et d'autres expérimentateurs, sur les recherches desquels j'aurai à revenir dans la suite de ce travail, il résulte que le sang artériel et le sang veineux contiennent l'un et l'autre, mais en proportions différentes, et à l'état de liberté, de l'oxygène, de l'acide carbonique et de l'azote : ces gaz peuvent en être dégagés par l'action du vide ou par le passage d'un autre gaz. Tous les faits acquis par ces recherches conduisirent aux idées admises le plus généralement dans la science, savoir, que le phénomène de la respiration doit être assimilé à un simple déplacement d'un gaz par un autre. Ces idées ont été précisées récemment par Vierordt (1), auquel on doit d'avoir dé-

(1) Vierordt, *Physiologie des Athmens*. Karlsruhe, 1845. — *Respiration*, in *Wagner's Handworterbuch der Physiologie*, Band II, Seite 828.

montré nettement que les seules lois physiques de la dissolution suffisent pour expliquer à la fois l'absorption et le dégagement des gaz, au moins quant au sens du phénomène, sinon quant à la grandeur des données numériques fournies par l'expérience.

Une multitude de faits secondaires viennent d'ailleurs à l'appui de cette opinion : par exemple, l'absorption de l'hydrogène dans une atmosphère de ce gaz, constatée par Bichat (1), et mesurée avec exactitude par Regnault et Reiset (2) ; l'absorption considérable du protoxyde d'azote et de la plupart des gaz solubles, observée par Davy (3), dans des circonstances semblables ; l'absorption même des gaz délétères dont on retrouve des traces après la mort, jusque dans la profondeur des tissus, comme l'ont constaté Nysten (4) et un grand nombre d'autres physiologistes ; inversement, le dégagement par les voies respiratoires des gaz solubles injectés par les veines, observé par Nysten (5), et récemment étudié par M. Cl. Bernard (6) ; le dégagement d'oxygène pendant la respiration des animaux placés dans une atmosphère de gaz étrangers, constaté par Marchand (7), puis par Regnault et Reiset (8) ; la mort des animaux dans un milieu contenant jusqu'à 50 pour 100 d'oxygène, mais riche en acide carbonique, par l'interruption du dégagement normal de ce dernier gaz (9) ; l'aug-

(1) Bichat, *Recherches sur la vie et la mort*, p. 445.

(2) Regnault et Reiset, *Recherches chimiques sur la respiration* (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1849, t. XXVI).

(3) H. Davy, *Researches, Chem. and Physiol., chiefly concerning Nitrous Oxyde, or Diphlogisticated Nitrous Air and its Respiration*. In-8, Londres, 1800, p. 273.

(4) Nysten, *Recherches de physiologie et de chimie pathologique*, 1811, p. 114.

(5) Nysten, *ibid.*, p. 145.

(6) Cl. Bernard, *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses*. Paris, 1857, IIe et IIIe leçon.

(7) R. F. Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut, und seine Bestandtheile* (*Journ. für prakt. Chem.*, Leipzig, 1845, Band XXXV, Seite 385), et *Ueber die Respiration des Frosches* (*Journ. fur prakt. Chem.*, 1844, Band XXXIII, Seite 154).

(8) Regnault et Reiset, *Rech. chim. sur la resp.* (*Ann. de chim. et phys.*, 3e série, 1849, t. XXVI).

(9) Cl. Bernard, *ibid.*, VIIIe leçon.

mentation dans la rapidité de l'exhalation de l'acide carbonique avec l'accélération des mouvements respiratoires qui expulsent sans cesse les gaz exhalés, établie nettement par les expériences de Vierordt (1); enfin, un nombre considérable d'autres observations tendant toutes à prouver qu'il y a, dans la respiration, absorption ou dégagement de gaz, toutes les fois que les lois de la dissolution permettent de prévoir l'un ou l'autre de ces phénomènes.

Toutefois l'absorption ou le dégagement de gaz peuvent bien n'être que le résultat définitif d'une action plus complexe, produisant les mêmes effets, et modifiée à peu près par les mêmes circonstances que la dissolution, mais cependant différente quant à sa nature intime et aux lois précises qui la régissent. Et d'abord, le changement de couleur immédiat des globules ou même de leur matière colorante isolée, au contact de l'oxygène, changement que bien des considérations tendent à faire regarder comme un phénomène chimique, indique évidemment dans cette phase de l'absorption une action plus intime. En outre, le sang privé de globules agit sur les gaz, et sur l'oxygène en particulier, tout autrement que le sang avec ses globules, sans agir cependant comme l'eau pure. Enfin, diverses expériences ont montré que la dissolution préalable dans l'eau de substances ayant pour les gaz une affinité chimique, même très faible, peut lui donner une faculté d'absorption beaucoup plus considérable, et qui peut être comparée, sous certains rapports, à celle du sang. En rapprochant entre eux ces résultats, on en vient au moins à douter que les organes de respiration soient le siége d'une dissolution simple, et d'un simple dégagement de gaz dissous.

D'un autre côté, les expériences de Henri Rose (2) sur les combinaisons de la potasse et de la soude avec l'acide carbonique,

(1) Vierordt, *Recherches expérimentales concernant l'influence de la fréquence des mouvements respiratoires sur l'exhalation de l'acide carbonique* (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 1844, t. XIX, p. 1033) — Voir aussi *Physiologie des Athmens*. Karlsruhe, 1845, Seite 102.

(2) Heinrich Rose, *Ueber die Verbindungen der Alkalien mit der Kohlensäure* (*Poggendorf's Annalen*, Leipzig, 1835, 2e série, t. XXXIV, p. 149).

celles de Marchand (1) sur le même sujet envisagé au point de vue de la respiration, expériences qui ont été répétées depuis par un grand nombre d'autres expérimentateurs, ont montré que les carbonates alcalins, après avoir absorbé de l'acide carbonique pour se transformer en sesquicarbonates ou en bicarbonates, c'est-à-dire en combinaisons chimiques parfaitement définies, peuvent, quand ils sont en dissolution, et dans ce cas seulement (2), s'en séparer sous l'action du vide ou par le passage d'un gaz étranger. Le dégagement des gaz, sous de semblables influences, n'est donc pas non plus un caractère suffisant pour distinguer une dissolution simple d'une combinaison véritable, et précisément la formation de composés de ce genre dans le sang est au moins possible.

De là résulte la nécessité d'établir une distinction préalable entre ces deux phénomènes, par une définition précise de la dissolution des gaz dans les liquides. Or, la loi qui régit les quantités de gaz absorbées, d'après les premières expériences exactes faites à ce sujet par Henry (3) et Dalton (4), peut se formuler de la manière suivante : *Les quantités d'un gaz que dissout l'unité de volume d'un liquide sont proportionnelles à la pression exercée* par ce gaz lui-même *à la surface du liquide.* Si l'on remarque que les quantités de gaz contenues dans l'unité de volume à l'extérieur sont aussi proportionnelles à cette pression, on arrive à cette autre forme d'énoncé, plus frappante peut-être : *Pour qu'il y ait équilibre entre le gaz dissous et le gaz extérieur, il faut qu'il existe un rapport déterminé et constant entre la densité du gaz dans l'atmosphère et la densité de ce même gaz dans le liquide.* La valeur de ce rapport dépend de la nature du gaz et de celle du liquide.

(1) R. F. Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut, und seine Bestandtheile* (*Journ. für prakt. Chem.*, Leipzig, 1845, Band XXXV, Seite 387).

(2) H. Rose, *ibid.*, p. 150 et suiv.

(3) W. Henry, *Exp. on the Quant. of Gases absorbed by Water* (*Phil. Transact.*, 1803, p. 29).

(4) Dalton, *On the Absorption of Gases by Water and other Liquids* (*Mem. of the Literary and Philos. Societ. of Manchester*, 1805, 2ᵉ série, vol. I, p. 271).

Inversement, cette loi, dont M. Bunsen (1) a démontré recemment l'exactitude pour l'eau et les gaz qui n'ont pas sur elle d'action chimique, peut être considérée comme caractérisant la dissolution proprement dite. L'énoncé même de la loi indique, en effet, qu'il n'y a pas de groupement nouveau entre les molécules, mais simplement pénétration, en proportion déterminée, des molecules du gaz à travers les intervalles laissés par les molécules du liquide : le gaz conserve ainsi son caractère physique essentiel, c'est-à-dire sa force expansive, qui doit se mettre toujours en équilibre avec la force expansive des molécules du gaz extérieur, et avec les actions moléculaires qu'il éprouve de la part du liquide. L'action du vide à la surface du liquide devra produire le dégagement complet du gaz ; et le passage continu d'un gaz étranger aura le même effet, puisqu'il rend nulle la pression exercée à la surface du liquide, par le gaz de même nature que le gaz dissous.

Il résulte d'ailleurs du même énoncé que, dans une dissolution véritable, il y aura toujours absorption nouvelle de gaz par le liquide ou dégagement du gaz dissous, selon que le rapport des densités aura une valeur supérieure ou inférieure à la valeur constante qui convient aux corps mis en présence. Or, le premier cas est celui qui se présente dans les cellules pulmonaires pour l'oxygène ; le second est applicable, au contraire, à l'acide carbonique ; quant à l'azote, il peut se trouver dans l'un ou l'autre cas, ce qui explique les résultats contraires obtenus (2) sur les quantités relatives d'azote absorbées ou dégagées dans la respiration. La loi de la dissolution simple, ainsi définie, peut donc, en effet, rendre compte du sens des faits.

Il reste à savoir si les données numériques fournies par l'expérience satisferont encore à l'énoncé précis de cette loi. S'il n'en est pas ainsi, les gaz ne devront plus en être considérés comme

(1) Bunsen, *Ueber das Gesetz der Gasabsorption* (*Ann. der Chem. und Pharm.*, Heidelberg. 1855, Band XCIII, Seite 1). — Quelques extraits en ont été publiés dans les *Ann. de chim. et de phys.*, 1855, 3e série, t. XLIII, p. 496.

(2) Les résultats différents obtenus à cet égard ont été réunis et interprétés par M. Milne Edwards dans son ouvrage récent : *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*. Paris, 1857, t. I, p. 485 et suivantes.

étant à l'état de dissolution proprement dite. Si, au contraire, l'absorption obéit à la loi des proportions définies, si elle se fait en quantités dépendantes de la nature du liquide et des proportions des substances qu'il tient en dissolution, et indépendamment des variations de pression, elle devra être considérée comme produite par une véritable affinité chimique, et non par la seule force dissolvante : il se sera fait alors un groupement moléculaire nouveau. Si, enfin, le gaz absorbé se séparait en deux parties, obéissant chacune à l'une de ces lois, l'une et l'autre cause devraient être invoquées dans l'explication du phénomène.

Or, l'expérience a déjà démontré que l'absorption de l'oxygène en particulier par le sang est soustraite, dans une certaine mesure, à l'influence de la pression (1), et c'est d'ailleurs cette indépendance qui rend l'absorption de l'oxygène à peu près la même à différentes altitudes, dans les plaines basses ou sur les plateaux élevés, et régularise ainsi les phénomènes respiratoires. Toutefois cette régularité n'est pas absolue, comme l'ont démontré plusieurs observateurs (2), et des variations de pressions un peu notables amènent toujours des différences dans les quantités des gaz absorbés ou dégagés. Le phénomène paraît donc réellement tenir à la fois de la dissolution simple et de la combinaison chimique, obéir à la fois aux lois de l'une et de l'autre : seulement, il peut y avoir prédominance de l'une ou l'autre action, selon la nature du gaz que l'on considère.

Le problème ainsi posé, la première question à résoudre est de savoir jusqu'à quel point l'absorption des gaz de la respiration par le sérum ou le sang suit la loi de Dalton, ou la loi des proportions définies. Des expériences préliminaires m'ayant de nouveau démontré qu'elle s'écarte, en général, notablement de la première loi, sans être jamais complétement indépendante de la pression, j'ai dû séparer les éléments du problème, et étudier l'action de

(1) Regnault et Reiset, *Recherches chimiques sur la respiration* (*Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, 1849, t. XXVI).

(2) Vierordt, *Physiologie des Athmens*, p. 84 et suivantes. — Lehmann, *Lehrbuch der physiologischen Chemie*, Band III, Seite 306.

ces gaz d'abord sur des solutions artificielles des principaux sels dissous dans le sérum, puis sur le sérum tout entier, et enfin sur le sang lui-même. Dans des recherches de ce genre, il est nécessaire avant tout d'avoir, pour les expériences d'absorption, une méthode rapide et en même temps très précise, donnant les volumes du liquide et du gaz, et la pression de ce dernier aux différents moments de l'expérience. Il est nécessaire de même, pour se faire une idée nette de la nature du phénomène, de déterminer avec quelle force les gaz sont retenus dans le liquide, ou avec quelle facilité ils en peuvent être chassés par de simples actions physiques. L'un et l'autre mode d'étude doivent être successivement appliqués aux différents liquides.

Je diviserai donc l'exposé des recherches tendant à la solution de toutes ces questions, comme il suit :

Dans un premier chapitre, j'examinerai les méthodes d'absorption les plus précises, employées jusqu'ici dans un but analogue, et j'exposerai celle dont je me suis servi moi-même.

Dans un deuxième chapitre, je décrirai de même les méthodes de dégagement des gaz absorbés.

Dans un troisième chapitre, j'exposerai en détail les expériences faites pour déterminer les lois de l'absorption ou du dégagement des gaz par des solutions artificielles des principaux sels contenus dans le sang, puis par le sérum lui-même.

Enfin, dans un quatrième chapitre, je déterminerai les valeurs numériques précises, relatives à l'absorption des gaz par les divers éléments du sérum et par le sang tout entier, d'où je conclurai l'influence relative de chacun des éléments dissous et des globules eux-mêmes dans le phénomène. Je montrerai ensuite comment ces résultats peuvent être rapprochés de quelques-uns de ceux qui ont déjà été acquis par d'autres branches de la science.

Ces travaux, entrepris depuis plus de trois ans, ont tous été faits au laboratoire de chimie de l'École normale, où les difficultés matérielles m'ont été aplanies avec une bienveillance que je ne saurais trop reconnaître. Je saisis avec empressement cette occasion pour exprimer particulièrement à M. H. Deville ma recon-

naissance de la parfaite obligeance avec laquelle il a mis à ma disposition toutes les ressources dont il a pu disposer. C'est avec un véritable bonheur que je puis lui offrir ici ce témoignage de gratitude pour le bienveillant appui qu'il m'a prêté, comme à tous ceux de ses anciens élèves qui ont été assez heureux pour avoir besoin de lui plus tard.

## CHAPITRE I.

### ABSORPTION DES GAZ.

Le principe de presque toutes les méthodes employées jusqu'ici pour déterminer la loi suivant laquelle varient les volumes de gaz absorbés avec la pression exercée par eux à la surface des liquides, a été le suivant : Introduire dans un espace clos une quantité de gaz limitée, dont on puisse évaluer avec exactitude le volume, la température et la pression ; puis faire passer un volume connu de liquide dans le même espace ; agiter le liquide au contact du gaz jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de variation sensible ; enfin, déterminer exactement la pression, le volume et la température du gaz restant. Je vais examiner, parmi ces méthodes, celles qui paraissent offrir la plus grande précision.

Dans le petit nombre d'expériences faites par Magnus sur l'absorption des gaz par le sang (1), l'auteur a cherché uniquement à parvenir à une notion approximative des quantités d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique que le sang peut absorber ; mais il ne paraît pas s'être occupé de la pression, dont il n'indique même pas la valeur dans les données de ses expériences, et qui était sans doute voisine de la pression atmosphérique.

La première méthode vraiment précise qui ait été donnée pour déterminer les lois d'absorption des gaz par les liquides, est celle qu'a employée M. Bunsen dans un travail fort important, dont la publication est encore récente (2). L'appareil employé par l'au-

(1) Magnus, *Ueber das Absorptionsvermögen des Bluts zum Sauerstoff* (*Ann. de Poggendorf*, 3e série, 1845, t. VI).

(2) Bunsen, *Ueber das Gesetz der Gasabsorption* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, 1855, Band XCIII, p. 1). — Un extrait de ce mémoire a été publié dans

teur consiste essentiellement en une éprouvette graduée dont l'extrémité inférieure est mastiquée dans une monture à vis, au moyen de laquelle elle peut être appliquée solidement sur le fond d'un petit support garni de caoutchouc. L'éprouvette, ainsi hermétiquement fermée, peut être placée dans un manchon de verre contenant du mercure à sa partie inférieure, au niveau de l'ouverture de l'éprouvette, puis de l'eau dans le reste de sa hauteur, afin de maintenir le gaz et les liquides que l'appareil contient à une température bien constante : cette température est donnée par un thermomètre placé dans l'eau du manchon. Le support de l'éprouvette peut être fixé au pied du manchon, de façon qu'il suffit alors d'un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre pour l'ouvrir ou le fermer hermétiquement. Enfin, tout le système est assujetti extérieurement entre deux plates-formes réunies par des tiges de fer longitudinales, qui permettent de l'agiter autant qu'on le juge nécessaire. L'éprouvette reçoit le gaz et le liquide pendant qu'elle est placée sur la cuve à mercure, puis elle est vissée sur son support et introduite dans le manchon : on agite alors autant de fois qu'on le juge nécessaire, en ouvrant et fermant chaque fois l'extrémité inférieure de l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement de niveau sensible. Les volumes et les pressions du gaz sont évalués au moyen des divisions de l'éprouvette, qui a été calibrée avec soin.

Cette méthode a été appliquée par M. Bunsen à l'absorption par l'eau de quelques gaz, tels que l'azote, l'hydrogène, l'oxyde de carbone, l'acide carbonique, les hydrogènes carbonés, et des mélanges de gaz, tels que l'air atmosphérique. Quant à l'absorption de l'oxygène, elle n'a pu être déterminée par ce procédé, à cause de l'action du gaz sur le mercure : on a dû alors avoir recours à une méthode indirecte, consistant à faire passer de l'air, jusqu'à saturation, dans de l'eau pure et privée de gaz, et à analyser ensuite les gaz contenus dans cette eau. Cette dernière méthode d'analyse, employée déjà par M. Bunsen dans une autre circonstance, a été pour la première fois décrite par le docteur Baumert, dans le re-

les *Annales de chimie et de physique*, 1855, 3e série, t. XLIII, p. 496. — Une figure réduite de l'appareil est insérée à la page 498.

marquable travail sur la respiration du *Cobitis fossilis*, et de quelques autres poissons (1). J'y reviendrai en détail un peu plus loin, en traitant des méthodes de dégagement des gaz absorbés (2).

M. Bunsen appelle *coefficient d'absorption* pour chaque température le volume de gaz ramené à 0 degré et 760 millimètres, qui est absorbé à cette température par l'unité de volume de liquide, sous une pression de 760 millimètres de mercure. Je remplacerai, dans la suite de ces recherches, cette dénomination par celle de *coefficient de solubilité*, afin de distinguer les quantités entrant à l'état de *dissolution proprement dite*, et suivant la loi de Dalton, de celles qui obéissent à une loi d'*absorption* plus compliquée.

Cet appareil et cette méthode, imaginés surtout pour vérifier par l'expérience la loi de Dalton, dans les principales circonstances où cette loi peut être appliquée, et pour déterminer les valeurs numériques des coefficients d'absorption dans les limites usuelles, ne m'a pas paru convenir entièrement au but spécial que je me proposais. Et d'abord elle n'est pas applicable au cas où le gaz à absorber est l'oxygène, et il aurait toujours fallu, dans ce cas, lui substituer une autre méthode, comme l'a fait M. Bunsen lui-même; elle n'aurait pas non plus convenu au cas où le liquide absorbant aurait été du sang, qui aurait ôté aux parois du verre leur transparence. En outre, bien qu'elle puisse sans doute conduire à des résultats exacts dans des mains aussi habiles que celles de M. Bunsen, elle demande une précision qu'il est fort difficile d'atteindre dans la détermination des diverses données de l'expérience. L'évaluation du volume du gaz et de la pression repose sur la lecture d'une graduation en parties d'égales capacités, faite sur une éprouvette d'un assez grand diamètre; cette lecture doit être faite à travers une masse réfringente d'une épaisseur considérable; enfin la masse des liquides qui sont contenus dans l'appareil, et qui doivent prendre une température uniforme, apporte une difficulté de plus dans l'évaluation de cette température, et par suite du volume du gaz lui-même. De là autant de petites erreurs possibles, auxquelles

(1) *Chemische Untersuchungen uber die Respiration des Schlammpeizgers*, von Dr. M. Baumert (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, Band LXXXVIII, Seite 1).

(2) Voir page 148.

il est difficile de se soustraire, et qui peuvent acquérir une importance relative assez grande, quand il s'agit d'apprécier des quantités dont la valeur absolue est très faible.

J'ajouterai en terminant que, pour toutes ces raisons, il ne faut peut-être pas attribuer une trop grande importance à la précision des cinq chiffres décimaux qu'a fournis le calcul pour les valeurs des coefficients d'absorption, ce qui correspondrait à un dix-millième de la valeur absolue de ces nombres (1).

J'ai construit alors pour les expériences d'absorption que j'avais à faire un appareil dont la description et le dessin ont été publiés il y a déjà plus de deux ans (2), et auquel je n'ai fait subir depuis cette époque que de légères modifications de détail. Ce procédé, qui convient à tous les cas, me paraît d'ailleurs maintenant, à cause de la facilité des manipulations et de l'exactitude dont il est susceptible, pouvoir être également appliqué à déterminer les coeffi-

(1) Pour obtenir les valeurs numériques de coefficients d'absorption correspondants aux différents températures entre 0° et 20°, M. Bunsen a fait usage de fonctions du second degré en $t$, dont il a calculé les constantes au moyen de cinq ou six expériences faites à des températures comprises entre ces limites ; il a obtenu ainsi, pour l'acide carbonique, la formule :

$$c = 1{,}7967 - 0{,}07761\, t + 0{,}0016424\, t^2;$$

pour l'azote, la formule :

$$c = 0{,}20346 - 0{,}00053887\, t - 0{,}000011156\, t^2.$$

Les coefficients d'absorption $\alpha$ relatifs à l'oxygène ont été déduits, par le calcul, de ceux de l'azote qu'il désigne par $\beta$, au moyen de la formule :

$$\alpha = 2{,}0225\, \beta.$$

Les erreurs inévitables dans de semblables expériences ne me paraissent pas permettre de compter beaucoup sur les dernières décimales fournies par le calcul, ces erreurs étant, le plus souvent, d'un ordre de grandeur bien supérieur à celui des quantités exprimées par ces décimales.

Enfin je ferai remarquer que ces formules ne sont plus applicables à des températures supérieures à 20° ; il résulte de la manière même dont elles ont été obtenues qu'elles doivent être seulement considérées comme représentant empiriquement les phénomènes, dans les limites restreintes des expériences qui ont servi à les établir. C'est du reste seulement ainsi que M. Bunsen les a appliquées.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855, t. XLI, p. 1237, et *Annales de chimie et de physique*, 1856, t. XLVII, p. 360.

cients de solubilité des gaz dans les liquides avec une grande approximation.

Le vase dans lequel doit se faire l'absorption est un cylindre de verre V, qu'on peut fabriquer à la lampe avec un gros tube de 35 à 40 millimètres de diamètre, et de 28 à 30 centimètres de longueur (1). La figure 1 (planche 4) indique suffisamment la forme de ce vase et la disposition des deux tubes de verre (*c*, *d*) qui sont soudés à la partie supérieure ; le tube supérieur (*c*) doit être d'un diamètre suffisant pour laisser passer les liquides, le tube latéral (*d*) est au contraire capillaire. Le premier (*c*) est en rapport avec un T de cuivre muni de robinets (*g*, *h*) qui permettent de faire communiquer l'appareil successivement avec la machine pneumatique et le gazomètre autant de fois qu'on le juge convenable, et par un simple jeu de robinets. Le tube (*c*) est réuni au T de cuivre par un tube de verre effilé (*m*), qu'on ferme au chalumeau quand le gaz et le liquide sont introduits dans l'appareil : cela n'offre d'ailleurs aucune difficulté, pourvu qu'on ait rendu la pression intérieure un peu moindre que la pression atmosphérique. Cette pièce est la seule qu'il faille renouveler à chaque expérience : elle permet de compter d'une manière absolue sur la fermeture hermétique du vase à absorption, et de l'agiter beaucoup plus facilement (2). Le second tube (*d*) est capillaire, et communique avec un manomètre à mercure, par un système de deux petits robinets d'acier (*r*, *r*) qui peuvent être à volonté séparés ou réunis. Le mode de réunion est celui que M. Regnault a employé dans quelques-uns de ses appareils : ce sont deux petits cônes d'acier, serrés dans une gorge

(1) Il est, du reste, nécessaire de faire varier les dimensions du cylindre à absorption dans les différents cas ; les nombres que je donne ici sont donc uniquement des nombres moyens, destinés à donner une idée de l'ordre de grandeur relative des diverses parties. Le cylindre devra, par exemple, être beaucoup plus grand quand il s'agira de l'absorption de l'acide carbonique par certaines solutions salines, qui en absorbent une quantité considérable, afin que la pression ne soit pas trop diminuée ; il y aura au contraire avantage à employer des vases plus petits pour l'oxygène ou l'azote.

(2) C'est là la principale modification apportée à l'appareil depuis la description publiée précédemment ; elle facilite beaucoup la manipulation, et augmente en même temps la certitude des résultats.

métallique (1). Le manomètre est aussi celui qu'il a employé dans plusieurs séries d'expériences : la disposition du robinet inférieur (R) permet de faire écouler le mercure de l'une ou l'autre des deux branches, ou de toutes deux à la fois. Les niveaux de mercure sont relevés au cathétomètre. Le cylindre à absorption est plongé dans un bain d'eau, dont on observe la température, chaque fois qu'il est nécessaire, avec de bons thermomètres qui y restent placés pendant tout le temps de l'expérience (2).

Voici maintenant comment on opère :

Le cylindre étant séparé du manomètre, et réuni au T de cuivre, on met en communication les robinets (*g*, *h*), l'un (*g*) avec la machine pneumatique par l'intermédiaire d'un tube de plomb, l'autre (*h*) avec le gazomètre ou l'appareil à gaz, au moyen d'un tube de caoutchouc. On peut alors faire le vide cinq ou six fois dans le cylindre, en le laissant chaque fois se remplir lentement de gaz pur. L'appareil une dernière fois plein de gaz, sous une pression dont on peut disposer à volonté par la quantité de gaz qu'on y a laissé entrer, on emplit complétement le manomètre de mercure jusqu'au point *r*, en continuant de verser le métal par la grande branche jusqu'à ce qu'on le voie s'écouler par le petit robinet d'acier : on établit la communication avec le cylindre, et l'on fait écouler du mercure par le robinet inférieur, jusqu'à ce que le niveau arrive dans la branche fermée à un point de repère (α) marqué sur le verre ; on vérifie d'ailleurs l'affleurement avec la lunette du cathétomètre. Le cylindre et l'espace manométrique ayant été jaugés à une température connue, on a le volume du gaz ; sa température est celle du bain : sa pression est observée sur le manomètre. Or, d'après la manière dont on a opéré, en augmentant le volume du gaz, on a rendu sa pression moindre que la pression atmosphérique ; c'est là ce qui permet d'introduire le liquide d'une manière très simple. Si l'on détache, en effet, le tube de caout-

(1) La figure (1,A) représente la section des deux cônes métalliques séparés, à une échelle un peu plus grande. La figure (1,B) représente le collier métallique qui doit les réunir, et la section de ce collier.

(2) Les thermomètres, qui demeurent toujours plongés dans le bain, n'ont pas été indiqués dans la figure 1, afin de ne pas la compliquer.

chouc qui a servi à introduire le gaz, du tube de verre vertical (e) auquel il était attaché, et qu'on lui substitue un flacon contenant une solution saline, dans laquelle on fera plonger le tube de verre, au moment où l'on ouvrira le robinet *h*, la pression atmosphérique fera monter une certaine quantité de la solution dans le cylindre (1). Le liquide une fois introduit, on ferme au chalumeau le tube *m*, et l'on peut enlever le cylindre et agiter le liquide au contact du gaz aussi longtemps qu'il est nécessaire. On rétablit d'ailleurs la communication avec le manomètre, au moyen des robinets d'acier, quand on le juge convenable. L'absorption peut être considérée comme terminée, lorsque, la communication ayant été rétablie une dernière fois avec le manomètre, il n'y a pas de changement sensible dans le niveau du mercure : on fait en sorte que le niveau arrive alors dans la branche fermée au même trait $\alpha$, ou à l'un des autres points de repère $\beta$, $\gamma$, $\delta$, marqués sur le verre. Si l'on connaît le volume du liquide introduit, on connaîtra aussi le volume du gaz, puisque le tube manométrique a été jaugé avec soin jusqu'à chacun de ces points de repère ; sa température et sa pression sont également connues : les deux volumes de gaz, ramenés à 0 degré et à la pression de 760 millimètres, donnent, par différence, le volume de gaz absorbé. Enfin, comme on connaît la densité du liquide, on en détermine le volume par le poids, au moyen de deux pesées du cylindre, faites, l'une pendant qu'il contient le liquide, l'autre après qu'on en a chassé le liquide.

Je ferai remarquer, en terminant cet exposé de la méthode, que tous les volumes sont déterminés par des pesées, c'est-à-dire avec un degré d'exactitude que la méthode directe peut difficilement atteindre, et qui reste le même pour la détermination de toutes les données numériques de l'expérience. Pour avoir la force élastique du gaz, on mesure la pression atmosphérique sur un bon baromètre, on prend avec un cathétomètre la différence des niveaux dans le manomètre, et il reste à retrancher de la force élastique ainsi obtenue celle de la vapeur d'eau qui peut se trouver mélangée au gaz. Or, l'espace étant nécessairement saturé de

(1) Cette disposition est indiquée dans la figure 2.

vapeur dans l'observation de la pression finale, je me suis placé dans les mêmes conditions pour l'observation de la pression initiale, et j'ai fait arriver le gaz dans l'appareil en lui faisant traverser des flacons pleins d'eau pure : la force élastique de la vapeur d'eau correspondante à chaque température est alors indiquée par les tables de M. Regnault.

Depuis la publication de cette méthode (1), M. L. Meyer, dans une thèse inaugurale à la Faculté de médecine de Wurtzbourg, en 1857 (2), a employé, pour étudier l'absorption des gaz par le sang défibriné, une méthode et un appareil tout à fait semblables (3). Il y a cependant entre son procédé et le précédent, qu'il cite en divers points de son travail (4), quelques différences qui me paraissent diminuer notablement la précision de la méthode. J'indiquerai les principales. Le cylindre à absorption, de même forme que le mien, et en communication avec un manomètre semblable, est placé à l'air libre; il est simplement réuni au manomètre par un tube de caoutchouc, sur lequel on établit un compresseur pour interrompre la communication, ou dans lequel on amène les tubes de verre au contact pour la rétablir. Le gaz est introduit, une fois pour toutes, par la partie inférieure du manomètre, et il est à craindre qu'il ne soit mélangé avec l'air qui peut y être resté, et qui reste toujours adhérent aux parois d'un tube qu'on remplit de mercure. Enfin, les volumes du liquide et du gaz sont mesurés, non par des pesées, mais directement, ainsi que les pressions, par une graduation faite sur le verre du cylindre et du manomètre. L'évaluation du volume du sang en particulier, qui se faisait par une pesée dans la méthode que je viens de décrire, doit nécessairement offrir ici quelque incertitude, à cause de la viscosité du liquide et de l'opacité qu'il donne au verre en ruisselant sur les parois.

(1) Décembre 1855 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*).

(2) Lothar Meyer, *Die Gase des Blutes*. Göttingen, 1857. Cette thèse a été insérée dans *Zeitschrift fur rationelle Medicin, herausgegeben von J. Henle und Pfeufer*. Heidelberg und Leipzig, 1857, neue Folge, Band VIII, Seite 256.

(3) *Henle und Pfeufer's Zeitschrift*, N. F., Band VIII, Taf. VI, fig. 3.

(4) Page 2 et page 49 de la *Thèse*; page 257 et page 304 dans *Henle und Pfeufer's Zeitschrift*.

Toutes ces modifications, sans changer ni le principe de la méthode, ni la forme même de l'appareil, peuvent, ce me semble, introduire dans l'évaluation des diverses données de l'expérience, des erreurs dont l'importance relative peut devenir assez grande, quand il s'agit de déterminations précises. Cette méthode, ainsi modifiée, a donné cependant à M. L. Meyer un assez grand nombre de résultats sur le sang défibriné, très remarquables surtout au point de vue de la tendance qu'ils indiquent dans la marche des phénomènes, et sur lesquels j'aurai occasion de revenir plus loin.

L'exactitude des méthodes précédentes dépend beaucoup de la perfection avec laquelle les liquides employés pour l'absorption ont été privés de gaz. M. Bunsen, opérant toujours avec de l'eau pure, en chasse l'air par une vive ébullition, et la verse, pendant que cette ébullition dure encore, dans une fiole dont le col a été étiré : puis, l'ébullition ayant été maintenue une demi-heure encore dans ce vase, il presse rapidement entre les doigts un petit tube de caoutchouc fixe à l'extrémité du col, éloigne le feu, et ferme au chalumeau la partie étirée. Quand on veut ensuite employer cette eau, on brise la pointe sous le mercure (1). M. L. Meyer, dans des recherches faites avec l'appareil de M. Bunsen sur l'absorption de l'acide carbonique par les carbonates, applique la même méthode à une solution saline dont on connaît la concentration avant l'ébullition, et il détermine l'eau évaporée par deux pesées (2). Dans les expériences relatives à l'absorption par le sang défibriné, il chasse simplement les gaz, en plaçant le cylindre à absorption, rempli de sang jusqu'aux deux tiers, dans un bain d'eau chaude, et le mettant en communication avec la machine pneumatique. Il ferme ensuite ce cylindre, en plaçant un compresseur sur le tube de caoutchouc qui le surmonte, et le met en communication avec le manomètre (3).

(1) Mémoire cité, *Ueber das Gesetz der Gasabsorption* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, Heidelberg, 1855, Band XCIII, Seite 1).

(2) Page 33 de la Thèse citée, et page 288 dans *Zeitschrift fur rationelle Medicin*, Band VIII.

(3) Page 22 de la Thèse citée, et page 277 dans *Zeitschrift für rationelle Medicin*, Band VIII.

J'ai déjà indiqué la méthode toute différente que j'emploie pour introduire dans l'appareil le liquide, qui y pénètre de lui-même. Voici comment les solutions ont été préparées à l'avance :

Je place de petites fioles à fond plat, pleines jusqu'aux trois quarts d'eau distillée, sur un bain de sable chauffé par un feu modéré, et je fais bouillir pendant une heure environ ; puis je verse dans chacune d'elles, au moyen d'une burette graduée, quelques divisions d'une solution titrée assez concentrée, et préparée avec de l'eau distillée et bouillie. Je maintiens l'ébullition pendant une demi-heure encore, je bouche chacune des fioles avec un bouchon choisi d'avance, et je la conserve renversée sur du mercure recouvert d'une petite couche d'huile, jusqu'au moment même où le liquide doit être employé. A ce moment, la solution ne reçoit le contact de l'air que par une surface très petite pendant quelques secondes à peine, tandis qu'on y introduit le tube de l'appareil, et enfin ce tube va chercher le liquide au fond du vase ; il est donc permis de supposer qu'il n'a pas absorbé de gaz pendant la manipulation : chaque flacon ne sert, du reste, qu'à une expérience. Le nombre de divisions de la solution titrée qu'on a versée dans la fiole donne le poids total de sel qu'elle contient ; la pesée de la fiole pleine et celle de la fiole vide donnent le poids total de liquide : on en déduit le titre de la solution pour chaque fiole en particulier.

Dans les expériences où j'ai opéré sur le sérum du sang, ou sur le sang défibriné, j'en ai chassé les gaz par la méthode suivante : Les liquides ont été placés dans un flacon, au milieu d'un bain d'eau chaude, et traversés par un courant rapide d'hydrogène bien pur, pendant au moins une heure ; ils ont ensuite été soumis immédiatement au vide de la machine pneumatique, et employés aussitôt. La constance des résultats ainsi obtenus a confirmé l'efficacité de ce procédé.

Enfin, les gaz destinés à ces expériences d'absorption ont été préparés et purifiés par des procédés que je décrirai pour chacun d'eux en particulier.

L'acide carbonique et l'azote pouvaient sans inconvénient, d'après la manière dont ils étaient préparés, être introduits immé-

diatement, et sans l'intermédiaire d'un gazomètre, dans le cylindre à absorption. La préparation de l'oxygène exigeant, au contraire, une élévation de température, et devant marcher avec une certaine lenteur, j'introduisais d'abord la quantité de gaz suffisante pour remplir le cylindre à absorption au moins huit à dix fois, dans un gazomètre à mercure, qui est figuré à côté de l'appareil (pl. 4, fig. 3). Il est construit tout à fait sur le modèle des immenses gazomètres qui servent à recueillir le gaz de l'éclairage dans nos usines. Un simple coup d'œil jeté sur la figure montre qu'il suffit de mettre le tube *t* en communication avec l'appareil à gaz, au moyen d'un tube de caoutchouc, et d'ouvrir le robinet *t*, le robinet *s* étant fermé, pour introduire le gaz dans l'éprouvette qu'il soulèvera peu à peu : on devra alors ajouter successivement des contre-poids (en P, P), pour maintenir une pression à peu près constante dans l'éprouvette. Le gazomètre une fois plein de gaz, quand on voudra l'introduire dans l'appareil à absorption, il suffira de mettre le tube *s* en communication, par un petit tube de plomb, avec le tube *e*, et d'ouvrir lentement les robinets *s* et *h*, le robinet *t* étant fermé, pour que le gaz passe dans le cylindre où l'on a fait le vide. Je ferai remarquer, en terminant, que cette disposition permettait d'obtenir à volonté dans le cylindre une pression égale à la pression atmosphérique, ou notablement inférieure, puisqu'il suffisait pour cela de régler les contre-poids, et l'on jugeait d'ailleurs de la grandeur de cette pression par la comparaison des niveaux du mercure, dans l'éprouvette à gaz et au dehors. Une petite couche d'eau avait été introduite dans l'éprouvette, au-dessus du mercure, afin de maintenir le gaz saturé d'humidité.

Ce gazomètre, qui n'exige qu'une manipulation très simple et très rapide, et permet de donner au gaz une pression quelconque, peut évidemment être employé avec avantage pour recueillir et conserver à l'état de pureté tous les gaz qui n'attaquent pas le mercure.

## CHAPITRE II.

### DÉGAGEMENT DES GAZ ABSORBÉS.

La méthode la plus simple pour mettre en liberté les gaz absorbés par un liquide, est celle qu'on emploie généralement dans les cours pour démontrer la présence des gaz en dissolution dans l'eau, et en faire une analyse qualitative. On emplit complétement d'eau un ballon de verre, ainsi que le tube à dégagement qui y est adapté et qui va se rendre sous une éprouvette : l'élévation de température chasse d'abord les gaz, que le dégagement de vapeur achève ensuite de faire passer dans l'éprouvette. Mais cette méthode n'est susceptible d'aucune exactitude, quant à l'évaluation du volume de liquide employé, ni quant à la détermination du volume du gaz, qui est, du reste, en partie absorbé de nouveau, à mesure que les liquides se refroidissent. Elle offre d'ailleurs bien d'autres inconvénients encore, et enfin elle ne pourrait s'appliquer au sang qu'avec des modifications essentielles, à cause de la coagulation de l'albumine.

Les premières méthodes susceptibles de quelque exactitude sont celles qu'a employées M. Magnus (1), auquel on doit les premières notions réellement précises sur la nature et les proportions relatives des gaz contenus dans le sang. Voici les deux procédés qu'il a successivement employés.

Dans une première série de recherches, M. Magnus reprend avec plus de rigueur des expériences qui avaient donné des résultats contradictoires entre les mains de divers chimistes ou physiologistes (2). Peu de temps avant la publication de ses travaux,

(1) Magnus, *Ueber die im Blute enthaltenen Gase, Sauerstoff, Stickstoff, und Kohlensaure* (*Ann. von Poggendorf*, 1837, Band XL, Seite 583). — Traduit dans les *Ann. des sc. naturelles*, 1837, 2e série, t. VIII, p. 79, et dans les *Ann. de chim. et de phys.*, 1837, t. LXV, p. 169.

(2) On trouve une énumération très complète des travaux faits sur cette question, avant la publication du Mémoire de M. Magnus, et une appréciation de chacun d'eux, dans l'excellent ouvrage que vient de publier M. Milne Edwards : *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*. H. Milne Edwards, Paris, 1857, t. I, p. 438, note 1.

M. Stevens (1) et M. Hoffmann (2), répétant successivement une expérience de Vauquelin (3), avaient annoncé que l'agitation avec l'hydrogène dégage du sang des quantités notables d'acide carbonique. Dans l'année même où furent publiés les travaux de M. Magnus, M. Bischoff, dans son discours d'installation comme professeur à Heidelberg (4), confirme d'ailleurs ces résultats généraux, d'après ses expériences personnelles. M. Magnus fit alors passer à travers le sang un courant rapide d'hydrogène ou d'azote, en ayant soin de faire ensuite traverser au gaz des dissolutions de chaux et de potasse. Il put ainsi constater la présence de l'acide carbonique dans le sang, et même évaluer la quantité de gaz qui s'était dégagée. Le résultat de ces expériences fut de constater qu'on pouvait, par cette méthode, obtenir un volume d'acide carbonique égal au moins à un cinquième du volume du sang. M. Magnus fait remarquer cependant que, dans ces expériences, on n'a pas chassé tout le gaz contenu dans le liquide, et qu'en outre, on n'a aucune notion sur la manière d'être de l'acide carbonique à l'état libre ou combiné, puisque le bicarbonate de soude se laisse décomposer par le même procédé.

Une méthode semblable a été employée plus récemment par M. Marchand (5) pour démontrer la présence de l'acide carbonique dans le sang. Cette méthode lui a servi à constater aussi que le bicarbonate de soude, à la température de 38 degrés, se transforme, par le passage du gaz hydrogène, en un sel qui ne diffère pas sensiblement du carbonate simple.

(1) *Transactions philosophiques de la Société royale de Londres*, 1835.

(2) *London Medical Gazette*. March 1833. — Extrait dans les *Ann. des sc. natur.*, 1834, 3e série, t. I, p. 315, et dans les *Archives générales de médecine*, 1834, 2e série, t. IV, p. 665.

(3) Cité dans W. Edwards, *Influence des agents physiques sur la vie*, 1824, p. 465.

(4) Th. L. Bischoff. *Commentatio de novis quibusdam experimentis chimico-physiologicis, ad illustrandam doctrinam de respiratione institutis*. Heidelberg, 1837.

(5) R. F. Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut und seine Bestandtheile* (Journ. für praktische Chemie, von Erdmann und Marchand, Leipzig, 1845, Bd. XXXV, S. 385).

Dans une seconde série de recherches, M. Magnus se sert encore d'une méthode employée avant lui par plusieurs chimistes, mais qui avait donné le plus souvent des résultats incertains, ou négatifs. Ainsi Mitscherlich, Gmelin et Tiedemann (1), n'avaient pu obtenir de dégagement de gaz, en soumettant le sang directement au vide de la machine pneumatique; l'addition du vinaigre pouvait seule en dégager des quantités notables, sous l'influence du vide. Magnus, en imaginant une disposition d'appareils qui donne à cette méthode une perfection inconnue jusqu'à lui et en fait une méthode toute nouvelle, démontra que le vide obtenu au moyen de la machine pneumatique dégage du sang des gaz qu'on peut mesurer et analyser, pourvu que le vide puisse être porté au moins à un pouce. L'appareil et le procédé sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de faire ici autre chose que les citer, je me contenterai de renvoyer à ce sujet au mémoire original, ou aux extraits nombreux qui en ont été faits (2); j'aurai, du reste, occasion de revenir sur le détail des résultats. Cependant, ici encore, M. Magnus lui-même fait remarquer qu'il n'a pas obtenu la totalité des gaz contenus dans le sang à l'état de liberté : aux motifs qu'il en donne, il faut ajouter, comme je le montrerai dans le cours de ce travail, la basse température à laquelle ont été faites ses expériences.

M. Marchand a employé plus tard (3) une méthode analogue, mais beaucoup moins parfaite, pour démontrer la présence de l'oxygène à l'état libre dans le sang veineux, ce liquide ayant été retiré des vaisseaux sans recevoir le contact de l'atmosphère. Ses expériences, faites surtout dans le but de répondre aux objections soulevées par M. Liebig (4) contre les résultats de M. Magnus, ont

(1) *Versuche uber das Blut*, angestelt, in Verbindung mit E. Mitscherlich, von L. Gmelin und F. Tiedemann (*Zeitschrift fur Physiologie*, 1833, Band V, Seite 1, et *Poggendorf's Annalen*, 1834, Band XXXI, Seite 289).

(2) Mém. cité. *Pogg. Ann.*, 1837, Band XL, Seite 583, ou *Ann. des sc. nat.*, 1837, 2ᵉ série, t. VIII, p. 79, ou *Ann. de chim. et phys.*, 1837, t. LXV, p. 169. — On trouve un résumé complet de la méthode et des résultats, avec un dessin de l'appareil, dans *Physique médicale : De la chaleur produite par les êtres vivants*, J. Gavarret, Paris, 1855, p. 202 et suiv.

(3) Mém. cité, *Journ. fur prakt. Chemie*, Leipzig, 1845, t. XXXV.

(4) *Handwörterbuch*, Band I, Seite 899.

permis uniquement de constater, au moyen d'une solution incolore d'oxydule de cuivre ammoniacal, la présence de l'oxygène dans les gaz dégagés par l'action du vide, et non d'en faire une analyse quantitative; cette méthode, telle que l'a employée M. Marchand, est donc, sous ce rapport, moins précise que celle de M. Magnus.

Plus récemment, M. Bunsen a imaginé, pour dégager les gaz contenus dans un liquide, une méthode qui a été employée et décrite avec détail par M. Baumert, dans son remarquable travail sur la respiration du *Cobitis fossilis* et de quelques autres Poissons (1); cette méthode a été appliquée par lui à l'étude de la composition de quelques eaux naturelles, et à l'étude de la respiration de quelques Poissons, et du *Cobitis* en particulier. Dans un travail très récent que j'ai déjà eu l'occasion de citer, M. Meyer (2) a employé la même méthode, avec quelques modifications légères, pour l'analyse des gaz dissous dans le sang artériel. Enfin, c'est aussi la méthode dont je me suis servi, en y apportant encore quelques faibles changements, qui m'ont paru propres à en assurer l'exactitude.

Cette méthode n'ayant pas encore été, que je sache, publiée avec détail en France, je vais la décrire, aussi rapidement que possible, telle que l'a employée M. Baumert; j'indiquerai ensuite les modifications introduites par M. Meyer, et celles que j'y ai apportées moi-même.

M. Baumert donne dans son mémoire deux procédés assez peu différents, et permettant, l'un une analyse purement qualitative des gaz dégagés, l'autre une analyse quantitative et qualitative : c'est cette seconde méthode seulement que je vais exposer. On place le liquide à analyser dans un ballon (pl. fig. 4, *u*) de 1 à 2 litres de capacité, au col duquel est adapté solidement un gros tube de caoutchouc. Le ballon peut être ainsi réuni à un tube de verre

(1) Dr. M. Baumert, *Chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeizgers* (*Cobitis fossilis*). (*Ann. der Chemie und Pharmacie*, von Liebig und Woehler, Band LXXXVIII, Seite 1).

(2) L. Meyer, *Die Gase des Blutes*, Göttingen, 1857, p. 4, et dans *Henle und Pfeufer's Zeitschr.*, N. F., Band VIII, Seite 259.

de même diamètre, suivi d'une boule soudée à un second tube de verre d'un diamètre beaucoup plus petit; cette dernière partie porte encore un tube de caoutchouc, au moyen duquel elle peut être mise en communication avec un cylindre de verre (*a*) gradué et calibré avec grand soin, et destiné à recueillir les gaz; ce cylindre se termine lui-même à ses deux extrémités par des tubes de verre de petit diamètre, servant, l'un (*d*) à établir la communication avec la pièce précédente, l'autre (*e*) à recevoir un tube de caoutchouc, qu'on pourra comprimer pour fermer l'appareil. Le cylindre (*a*) doit être assez grand pour que les gaz dégagés n'occupent que la moitié de son volume environ; sa longueur est d'ailleurs calculée sur les dimensions de la cuve à mercure, pour la facilité des manipulations. Pour pouvoir facilement établir et supprimer la communication entre le ballon et l'appareil à recueillir les gaz, on introduit dans le tube de caoutchouc qui les réunit un petit cylindre de verre plein; quand le ballon a reçu le liquide sur lequel on doit opérer, on place une ligature lâche en *n*, destinée à empêcher le cylindre de verre de passer dans le ballon; puis, après avoir achevé de remplir d'eau le col du ballon et le tube de caoutchouc, on introduit ce petit cylindre, et on l'assujettit par une ligature fortement serrée, placée en son milieu, en *p*; enfin, on introduit le tube *g* dans le caoutchouc. L'appareil est alors placé dans une position presque horizontale et seulement un peu inclinée, et la partie qui suit le tube de caoutchouc est remplie d'eau distillée, à peu près jusqu'à la moitié de la boule *c*; puis on adapte le cylindre *a*, après avoir placé un second cylindre de verre dans le tube de communication *d*, et les tubes de caoutchouc laissent ainsi une libre communication entre l'eau de la boule et l'air extérieur. On chauffe lentement cette eau au moyen d'une lampe à alcool, et cinq à six minutes d'ébullition suffisent pour chasser tout l'air de l'appareil; à ce moment, un aide place sur le caoutchouc *h* une pince métallique, serrée par une vis, qui maintient le cylindre fermé; on éloigne la lampe, et, si le vide a été bien fait, l'ébullition doit continuer par le refroidissement du cylindre. On peut alors faire bouillir, dans cet espace clos, l'eau que contient le ballon. Pour cela, on enlève la ligature placée en *p*; un vif dégagement

de gaz commence aussitôt dans le ballon, et une faible élévation de température suffit pour chasser tous les gaz libres. On arrête l'opération, quand on voit de grosses bulles de vapeur succéder aux petites bulles de gaz : la production de vapeur s'effectue du reste à une température encore assez basse, et toute cette manipulation n'offre évidemment aucun danger, puisqu'il ne peut y avoir d'explosion au-dessous de 100 degrés. Quand le dégagement des grosses bulles de vapeur a duré pendant un certain temps, on règle l'inclinaison de l'appareil, de telle sorte que le liquide, refoulé par la vapeur qui se réunit dans la panse du ballon, arrive aussi exactement que possible jusqu'au cylindre de verre placé en *d*, et l'on met alors une ligature solide sur ce cylindre. Il est important, pour faciliter cette manipulation, que les dimensions relatives des diverses pièces de l'appareil aient été choisies avec soin : aussi est-il nécessaire, en général, de faire quelques expériences préliminaires, et de se servir toujours du même ballon, ou de ballons aussi semblables que possible. Enfin le cylindre *a*, ainsi fermé hermétiquement, est détaché de l'appareil, et porté sur la cuve à mercure. On mesure le volume du gaz au bout de quelques heures, et l'on en détermine la composition par une analyse eudiométrique. D'après Baumert, cette méthode est, dans la pratique et avec un peu d'habitude, aussi commode que précise. Avec un ballon de un à deux litres de capacité, chaque expérience dure à peine trois heures.

M. Meyer n'emploie, parmi les deux méthodes décrites par M. Baumert, que la seconde et la plus susceptible d'évaluations précises, celle dont je viens de donner la description. Il applique cette méthode à l'analyse des gaz du sang, en y ajoutant quelques précautions spéciales. Ainsi, pour éviter la coagulation du liquide et le boursouflement qui se produit au moment du dégagement des gaz, il mélange le sang avec dix fois environ son volume d'eau. Il emploie à cet effet des ballons dont la capacité a été jaugée, le col gradué et calibré avec soin. Ces ballons contenant de l'eau distillée et bouillie, il y amène le sang artériel au sortir des vaisseaux et sans lui laisser le contact de l'air, et la différence des volumes donne le volume de sang introduit. Selon ce physiologiste, un

pareil mélange ne se boursoufle plus assez pour entraver l'opération, et il peut être chauffé à une température assez élevée sans qu'il y ait de coagulation notable. Cependant il remplace la fermeture des tubes de caoutchouc au moyen de cylindres de verre massif, par une fermeture au moyen de compresseurs analogues à la pince métallique, que M. Baumert plaçait à l'extrémité seulement de son appareil; il ajoute lui-même un peu plus loin que, sans cette modification, les caillots retenus entre la paroi du tube de caoutchouc et le cylindre de verre peuvent arriver à obstruer complétement le passage des gaz. Il y a donc dans l'application de cette méthode, sans autre changement, aux liquides tels que le sang, des difficultés pratiques sur lesquelles je reviendrai dans la dernière partie de ce travail.

J'ai employé moi-même, à très peu près, la seconde méthode décrite par Baumert, en apportant quelques modifications (pl. fig. 5) à l'appareil et à la manière d'opérer. Ainsi, j'ai pu remarquer, dans les premières expériences que j'ai faites en adoptant rigoureusement la méthode, un tournoiement de la vapeur à l'extrémité du cylindre pendant l'ébullition de l'eau de la boule, qui pouvait faire craindre la rentrée de l'air, au moins par intermittences; en appliquant du reste cette méthode, comme moyen d'épreuve, à l'analyse des gaz de l'eau saturée avec de l'air atmosphérique, j'ai trouvé presque constamment de l'azote en excès sur les proportions théoriques, ce qui paraissait confirmer cette crainte. J'ai placé alors le cylindre sur une petite grille *f*, contenant quelques charbons de Paris incandescents, qui, en maintenant ce cylindre à une température élevée, empêchent toute condensation de la vapeur; en outre, j'ai engagé dans le tube de caoutchouc qui termine l'appareil un petit tube de verre effilé très fin *k*, par lequel se dégage un long jet de vapeur pendant toute la durée de l'expérience, et qu'on ferme à la fin avec un trait de chalumeau. Au lieu de cylindres gradués, j'ai opéré alors avec des cylindres de verre ordinaire, qui peuvent être changés à volonté, et qu'on n'a pas la crainte de briser : la direction des tubes qui les terminent permet de faire passer facilement les gaz dans une cloche graduée, sur le mercure, et de procéder à l'analyse eudiométrique.

Je crois aussi préférable de souder le petit tube de verre qui est fixé à la boule, en *l*, au point de cette boule qui se trouve le plus élevé, quand l'appareil est dans la position qu'il doit avoir pendant l'expérience (voir fig. 5). On arrive ainsi plus facilement à remplir complétement la boule au moment de placer le compresseur qui la sépare du cylindre, et, dans le cas où l'on applique cette méthode au sang, l'ouverture de ce petit tube étant placée en dehors du liquide, ne peut être obstruée par les caillots pendant l'ébullition. La boule *c* et le ballon *u* sont chauffés avec quelques morceaux de charbon de Paris, placés au-dessous sur une petite grille, et qui permettent d'obtenir une ébullition parfaitement régulière.

J'ai, du reste, employé surtout cette méthode pour analyser les gaz dégagés de solutions salines qu'on en avait préalablement saturées, et, dans ce cas, l'opération a toujours marché d'une manière très régulière, et les résultats ont été très concordants. Quant à l'analyse des gaz contenus dans le sang à la sortie des vaisseaux, ou après une saturation artificielle, il est difficile d'obtenir par ce moyen autre chose que des résultats indiquant la marche générale des phénomènes ; les difficultés pratiques de l'expérience empêchent d'arriver à une évaluation complétement précise de toutes les données numériques.

Enfin, aux recherches effectuées au moyen de cette méthode, j'en ai joint quelques autres, faites par un procédé semblable à celui de M. Magnus, et destinées à étudier la loi du déplacement des gaz les uns par les autres, dans les divers liquides. Les solutions salines, le sérum ou le sang, étaient placés dans des flacons ordinaires, munis d'un tube plongeant dans le liquide et mis en communication avec l'appareil à gaz, et d'un autre tube partant du sommet du flacon et servant à la sortie des gaz. Le flacon pouvait être placé, quand on le jugeait nécessaire, dans un bain d'eau chaude maintenu à une température assez régulière. Quand il s'agissait du déplacement de l'acide carbonique, comme c'était le cas le plus fréquent, les gaz passaient, à leur sortie du flacon, dans des tubes contenant des substances capables d'absorber ce gaz, et l'on pouvait ainsi à la fois en constater la présence et déterminer la quantité dégagée. Quand il s'agissait du déplacement

de l'oxygène, on en pouvait constater la présence dans le gaz sortant, au moyen d'une solution ammoniacale de protochlorure de cuivre dans le sel marin ; quand il s'agissait de constater si le gaz contenait des traces d'oxygène, même très faibles, ou de s'assurer qu'il en était purgé d'une manière absolue, on lui faisait traverser un petit flacon contenant des bâtons de phosphore. Ce dernier moyen de contrôle est d'une extrême sensibilité, comme l'avait déjà constaté M. H. Deville (1), et comme j'ai eu bien des fois l'occasion de le vérifier moi-même. Il suffit, par exemple, de laisser entrer un 1/2 centimètre cube d'air dans un flacon de 8 à 10 litres de capacité, comme ceux que j'indiquerai plus loin pour la préparation de l'azote, pour voir l'atmosphère parfaitement limpide de ce flacon se remplir de fumées blanches, et les bâtons de phosphore s'entourer d'une auréole lumineuse dans l'obscurité. C'est donc là un des meilleurs réactifs pour constater la présence de traces d'oxygène dans un mélange de gaz.

J'ai employé, dans d'autres cas, un procédé tout à fait semblable pour priver de gaz le sérum ou le sang destinés aux expériences d'absorption : enfin, la même disposition d'appareil m'a servi à répéter, en variant un peu les conditions, les expériences déjà anciennes, relatives à l'influence des différents gaz sur la couleur du sang.

## CHAPITRE III.

### DÉTERMINATION DE LA LOI D'ABSORPTION DES GAZ PAR LES SOLUTIONS SALINES ET LE SÉRUM.

D'après tout ce qui a été dit précédemment, la première question à résoudre était la suivante : Les solutions salines, et le sérum en particulier, suivent-ils la loi de Dalton relativement à l'absorption des gaz qui nous occupent ? J'ai eu recours pour cela à la méthode générale d'absorption qui a été décrite.

Dans cette série d'expériences, il est plus indispensable encore que dans toute autre circonstance, de maintenir les gaz et les li-

(1) H. Sainte-Claire Deville, *Des carbonates métalliques* (*Ann. de chim. et de phys.*, 1852, 3e série, t. XXXV, p. 444).

quides à une température parfaitement fixe, au moins dans le courant de chaque expérience. Les résultats obtenus par M. Bunsen ont en effet démontré que les coefficients d'absorption peuvent prendre des valeurs très différentes quand on fait varier la température entre des limites même très restreintes, et dans les cas même où cet habile physicien admet qu'il n'intervient aucune action chimique. Ainsi, le coefficient de solubilité de l'oxygène, celui de l'azote et celui de l'acide carbonique, deviennent environ deux fois moindres, quand on fait varier la température de 0 degré à 20 degrés (1). Il est clair, par conséquent, que des variations de température, dans le courant d'une série d'expériences destinées à déterminer l'influence de la pression, auraient pu modifier les résultats jusqu'à masquer entièrement la loi.

De là résulte, ce me semble, un avantage notable à placer le cylindre à absorption au milieu d'une masse d'eau aussi considérable que possible; à faire l'expérience dans une enceinte à température uniforme, où le bain d'eau et tous les appareils demeureront placés longtemps d'avance; enfin à constater, par des observations fréquemment répétées sur des thermomètres sensibles placés dans le bain, que la température n'a pas varié d'une manière notable. Je crois donc que la modification apportée ici en particulier par M. Meyer, dans le travail que j'ai cité, à la méthode telle que je l'avais décrite (2), en plaçant le vase à absorption dans l'air libre, peut enlever à cette méthode une partie de sa certitude. Il est impossible d'ailleurs que l'observateur ne modifie pas lui-même la température, quelques précautions qu'il prenne

(1) Les valeurs de ces coefficients données par M. Bunsen sont les suivantes :

| | à 0° | à 20° |
|---|---|---|
| Oxygène . . . . | 0,04114 | 0,02830 |
| Azote . . . . . | 0,02035 | 0,01403 |
| Acide carbonique. . | 1,7967 | 0,9014 |

Ces valeurs et celles qui correspondent aux températures intermédiaires sont déduites par le calcul des formules empiriques du second degré, que j'ai données dans une note précédente, p. 19. (Bunsen, *Ueber das Gesetz der Gasabsorption*, *Ann. der Chemie und Pharmacie*, Band XCIII.)

(2) Voir chapitre I, page 141.

à cet égard. Les causes d'erreur ayant ici plus d'importance encore que dans tous les autres cas, j'ai cru nécessaire d'y revenir avec quelques détails.

Je partagerai ce chapitre comme il suit :

I. Expériences sur l'absorption de l'acide carbonique.
II. Expériences sur l'absorption de l'oxygène.
III. Expériences sur l'absorption de l'azote.

Je citerai de préférence comme exemples, dans chaque cas, celles qui ont été faites avec des solutions de concentrations assez différentes.

### I. — Expériences sur l'absorption de l'acide carbonique.

L'acide carbonique a été préparé au moyen du marbre et de l'acide chlorhydrique : on lui faisait traverser ensuite des tubes à pierre ponce imprégnée de carbonate de potasse, et des flacons laveurs contenant de l'eau distillée. De là le gaz passait immédiatement dans le cylindre à absorption, comme il a été dit plus haut.

Les expériences dont je vais donner les résultats sont relatives à l'absorption de ce gaz par les solutions suivantes :

1. *Carbonate de soude.*
2. *Phosphate de soude.*
3. *Chlorure de sodium.*
4. *Sérum du sang.*

1. *Carbonate de soude et acide carbonique.* — Les solutions de carbonate de soude ont été préparées, comme il a été indiqué plus haut, au moyen d'une solution normale titrée.

Après l'introduction d'une certaine quantité de liquide dans l'appareil, on a fait varier la pression un certain nombre de fois, en ayant soin d'agiter chaque fois le cylindre à absorption jusqu'à ce que la pression fût devenue parfaitement constante (1). Dans ce

(1) J'ai pu observer que, dans la première expérience de chaque série, le gaz agité avec le liquide mettait toujours un certain temps à atteindre un état d'équilibre bien constant, et il fallait renouveler l'agitation un certain nombre de fois, avant que le niveau restât stationnaire : puis, une fois que l'absorption semblait

cas particulier, les pressions sont toutes inférieures à la pression atmosphérique, ce qui tient à la valeur absolue de la quantité de gaz absorbé, qui est toujours assez considérable : de là aussi la nécessité de prendre des cylindres à absorption d'assez grandes dimensions.

*Série* A.

Titre de la solution. . . . . 0,0221
Volume introduit. . . . . . . 40cc,31
Température. . . . . . . . 10°,7

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 401,360 | 183,252 | 218,008 | 572,2 |
| » | 178,209 | 223,151 | 661,1 |
| » | 174,161 | 227,199 | 730,9 |
| » | 175,862 | 225,498 | 702,4 |
| » | 183,379 | 217,981 | 583,0 |

*Série* B.

Titre de la solution. . . . 0,0110
Volume introduit . . . . . 41cc,38
Température. . . . . . . . 12°,3

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 395,897 | 268,899 | 126,998 | 581,1 |
| » | 266,054 | 129,843 | 632,0 |
| » | 261,586 | 134,311 | 711,8 |
| » | 260,481 | 135,416 | 731,5 |
| » | 269,017 | 126,880 | 579,0 |

*Série* C.

Titre de la solution. . . . 0,0081
Volume introduit . . . . . 42cc,23
Température . . . . . . . 13°,1

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 392,608 | 287,218 | 105,390 | 590,2 |
| » | 284,147 | 108,461 | 642,8 |
| » | 286,561 | 106,047 | 601,0 |
| » | 287,606 | 105,002 | 583,0 |
| » | 280,338 | 112,270 | 708,1 |

s'être faite d'une manière complète, le niveau s'établissait au contraire rapidement et après un petit nombre d'agitations, dans chacune des expériences suivantes.

Chacune de ces trois séries d'expériences montre immédiatement que les volumes de gaz absorbés ne sont pas proportionnels aux pressions. En prenant, par exemple, pour point de départ, dans chacune d'elles, le volume absorbé sous la pression la plus faible, on voit que les volumes correspondants aux pressions croissantes ont des valeurs moindres que ne l'indiquerait la loi de Dalton. En d'autres termes, $h$ étant la pression la plus faible, et $v$ le volume de gaz absorbé correspondant, H une pression plus grande, et V le volume absorbé correspondant, la loi de Dalton donnerait $\frac{V}{H} = \frac{v}{h}$ ou $V = v\frac{H}{h}$, et les valeurs expérimentales de V que nous venons d'obtenir sont toutes plus petites que les valeurs tirées de cette expression.

La différence étant toujours dans ce sens, elle peut être attribuée à ce qu'une partie du gaz, retenue dans le liquide par une force comparable à l'affinité chimique, doit être par là soustraite à l'influence de la pression : si maintenant il était démontré qu'une autre partie du gaz absorbé, variable avec la pression, obéit à la loi de Dalton, elle pourrait dès lors être considérée comme se trouvant à l'état de dissolution proprement dite. Or, s'il en était ainsi, il ne devrait plus y avoir un rapport constant entre la pression et le volume correspondant, mais bien entre l'*accroissement de pression* et l'*accroissement de volume correspondant*. Ces accroissements sont calculés dans les tableaux suivants :

*Série* A.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 218,008 | 572,2 | | | |
| | | . . . . 5,143 | 88,9 | 0,05785 |
| 223,151 | 661,1 | | | |
| | | . . . . 4,041 | 69,8 | 0,05789 |
| 227,199 | 730,9 | | | |
| | | . . . . 1,694 | 28,4 | 0,05765 |
| 225,498 | 702,4 | | | |
| | | . . . . 6,991 | 119,4 | 0,05855 |
| 217,981 | 583,0 | | | |

*Série* B.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 126,998 | 581,1 | | | |
| | | . . . . 2,845 | 50,9 | 0,05589 |
| 129,843 | 632,0 | | | |
| | | . . . . 4,468 | 79,8 | 0,05599 |
| 134,311 | 711,8 | | | |
| | | . . . . 1,105 | 19,7 | 0,05609 |
| 135,416 | 731,5 | | | |
| | | . . . . 8,536 | 152,5 | 0,05597 |
| 126,880 | 579,0 | | | |

*Série* C.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 105,390 | 590,2 | | | |
| | | . . . . 3,071 | 52,6 | 0,05838 |
| 108,461 | 642,8 | | | |
| | | . . . . 2,414 | 41,6 | 0,05802 |
| 106,047 | 601,2 | | | |
| | | . . . . 1,045 | 18,2 | 0,05796 |
| 105,002 | 583,0 | | | |
| | | . . . . 7,268 | 125,1 | 0,05810 |
| 112,270 | 708,1 | | | |

Le rapport de chaque accroissement de volume absorbé à l'accroissement de pression correspondant présente, dans chaque série d'expériences, une constance aussi grande qu'on pouvait l'espérer, avec les erreurs d'expérience inévitables. L'hypothèse précédente peut donc être considérée comme justifiée. De plus, ce rapport peut être regardé comme exprimant en centimètres cubes le volume de gaz dissous par le volume de liquide employé, sous une pression de 1 millimètre ; en le multipliant donc par 760, et divisant le résultat par le volume du liquide, on obtiendra le volume de gaz dissous par l'unité de volume du liquide, sous la pression normale, c'est-à-dire le *coefficient de solubilité proprement dite* du gaz dans la solution saline, à la température de l'expérience.

La valeur moyenne du rapport précédent étant : 0,057985 pour la solution A, 0,055987 pour la solution B, et 0,058114 pour la solution C, on obtient pour valeurs des coefficients de solubilité proprement dite :

1,0932 pour la solution A, à 10°,7
1,0283 pour la solution B, à 12°,3
1,0459 pour la solution C, à 13°,1

Ces coefficients diffèrent peu de ceux du même gaz dans l'eau pure pour la même température, car la formule de M. Bunsen m'a donné par le calcul, pour les coefficients de solubilité dans l'eau pure, les valeurs :

1,1545 à 10°,7
1,0909 à 12°,3
1,0620 à 13°,1

Cependant ils sont tous un peu inférieurs aux coefficients de solubilité dans l'eau pure ; on peut même remarquer que la différence est d'autant plus grande que la solution saline est plus concentrée.

Donc, en définitive, outre l'action qui fixe, en vertu d'une affinité véritable, une certaine quantité de gaz indépendante de la pression, et sur laquelle je vais revenir, la solution saline exerce sur une atmosphère d'acide carbonique une action dissolvante proprement dite, soumise à la loi de Dalton, et dans laquelle le coefficient de solubilité propre est voisin de celui de l'eau pure : mais la présence du carbonate tend à diminuer ce coefficient, et lui donne, pour chaque solution saline en particulier une valeur d'autant moindre que le sel est en quantité plus considérable.

Je reviens maintenant à la partie du gaz absorbé qui est indépendante de la pression. Pour en obtenir la valeur, il suffit de retrancher du volume total absorbé, dans l'une quelconque des expériences de chaque série, le volume qui entre à l'état de dissolution proprement dite, et qui se calcule immédiatement au moyen des coefficients de solubilité obtenus. On trouve ainsi, en moyenne, les valeurs :

184,836 pour la solution A.
93,982 pour la solution B.
70,973 pour la solution C.

Or, en comparant ces volumes d'acide carbonique combiné à ceux que contenaient déjà les solutions de carbonate, on est immédiatement frappé de la simplicité du résultat. Un calcul simple montre, en effet, que les volumes de gaz déjà contenus dans ces solutions, exprimés à 0 degré et 760 millimètres, sont : 184,889 pour la solution A ; 94,47 pour la solution B, et 70,994

pour la solution C (1). Il y a donc égalité à peu près complète entre la quantité de gaz chimiquement combinée et celle qui existait déjà dans le carbonate simple. En d'autres termes, on doit admettre que le carbonate simple s'est converti en bicarbonate. J'ajouterai, enfin, qu'en prenant pour le carbonate de soude la formule $Co^2$,(NaO,HO) qui est celle des cristaux obtenus par une évaporation lente au-dessous de 100 degrés (2), on est conduit à représenter le nouveau sel par la formule $2Co^2$,(NaO,HO) : elle devient alors tout à fait symétrique. Cette remarque est surtout importante pour les rapprochements qu'elle nous permettra d'établir entre le rôle des phosphates et celui des carbonates.

Tous les faits précédents peuvent être résumés de la manière suivante :

L'action de la solution de carbonate de soude sur l'acide carbonique est complexe ; elle se compose : 1° de la transformation du carbonate simple en bicarbonate ; 2° de l'action dissolvante de la solution de bicarbonate sur l'acide carbonique, avec un coefficient de solubilité un peu moindre que celui de l'eau pure, et d'autant moindre que le carbonate est en plus grande proportion. La première phase exigeant un volume d'acide carbonique beaucoup plus considérable que la seconde, la solution absorbe, en définitive, une quantité de gaz beaucoup plus grande que ne ferait l'eau pure, et d'autant plus grande que la proportion de sel est elle-même plus considérable.

2. *Phosphate de soude et acide carbonique.* — Les détails dans

(1) On arrive à ces résultats de la manière suivante. La solution A, par exemple, ayant pour titre 0,0221, on a introduit dans l'appareil un poids de carbonate égal à $40,31 \times 0,0221 = 0,89085$, dans lequel entre un poids d'acide carbonique égal à $0,89085 \times \frac{22}{53}$ ; or, la densité de l'acide carbonique par rapport à l'eau étant $1,529 \times 0,0013$, ou sensiblement 0,002, le volume occupé à 0° et 760mm par l'acide carbonique de la solution A sera $0,89085 \times \frac{22}{53} \times \frac{1}{0,002}$, ou 184,889. Le même calcul a été fait pour les autres solutions.

(2) *Cours de chimie générale*, J. Pelouze et E. Fremy, 1848, t. II, p. 104.

lesquels je viens d'entrer relativement au carbonate de soude me permettront d'abréger un peu ce qui a rapport au phosphate. Ces deux sels se comportent, en effet, d'une manière remarquablement analogue.

Les solutions ayant été préparées au moyen d'une solution normale titrée de phosphate de soude ordinaire, de celui auquel on donne en général la formule $PhO^5,(2NaO,HO)$, on en a introduit une certaine quantité dans l'appareil à absorption, et les expériences ont donné lieu, relativement à la grandeur de l'absorption, aux mêmes remarques que les solutions de carbonate. Voici les résultats de trois séries d'expériences, choisies parmi celles qui ont été faites avec des solutions de concentrations assez différentes :

*Série* D.

Titre de la solution. . . . . 0,0270
Volume introduit. . . . . . . $41^{cc},0$
Température. . . . . . . . $12^o,9$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 408,974 | 208,419 | 200,555 | 582,4 |
| » | 205,466 | 203,508 | 639,2 |
| » | 201,639 | 207,335 | 712,9 |
| » | 200,570 | 208,404 | 733,4 |
| » | 207,411 | 201,563 | 601,8 |

*Série* E.

Titre de la solution. . . . . 1,0140
Quantité introduite. . . . . $40^{cc},08$
Température. . . . . . . . $13^o,5$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale. en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 404,849 | 285,201 | 119,648 | 602,3 |
| » | 283,718 | 121,131 | 629,1 |
| » | 279,304 | 125,545 | 708,9 |
| » | 280,347 | 124,502 | 692,4 |
| » | 285,435 | 119,414 | 598,1 |

*Série* F.

Titre de la solution. . . . . 0,0029
Quantité introduite. . . . . $42^{cc},10$
Température. . . . . . . . $10^o,6$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 403,574 | 347,911 | 55,663 | 608,9 |
| » | 345,717 | 57,857 | 643,7 |
| » | 341,916 | 61,658 | 703,9 |
| » | 340,175 | 63,399 | 731,5 |
| » | 348,522 | 55,052 | 599,2 |

Ici encore les volumes absorbés s'écartent notablement de la loi de Dalton, et la marche du phénomène peut donner lieu à l'hypothèse d'une combinaison chimique. On est ainsi conduit, comme dans le cas précédent, à calculer les accroissements de volumes absorbés, les accroissements de pression correspondants, et les rapports de ces quantités.

*Série* D.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 200,555 | 582,4 | | | |
| | | . . . . . 2,953 | 56,8 | 0,05199 |
| 203,508 | 639,2 | | | |
| | | . . . . . 3,827 | 73,7 | 0,05193 |
| 207,335 | 712,9 | | | |
| | | . . . . . 1,069 | 20,5 | 0,05204 |
| 208,404 | 733,4 | | | |
| | | . . . . . 6,841 | 131,6 | 0,05198 |
| 201,563 | 601,8 | | | |

*Série* E.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 119,648 | 602,3 | | | |
| | | . . . . . 1,483 | 26,8 | 0,05534 |
| 121,131 | 629,1 | | | |
| | | . . . . . 4,414 | 79,8 | 0,05531 |
| 125,545 | 708,9 | | | |
| | | . . . . . 0,253 | 16,5 | 0,05529 |
| 124,502 | 692,4 | | | |
| | | . . . . . 5,088 | 94,3 | 0,05533 |
| 119,414 | 598,1 | | | |

*Série* F.

| Volumes absorbés. | Pressions. | Accroissements de volume. | Accroissements de pression. | Rapports. |
|---|---|---|---|---|
| 55,663 | 608,9 | | | |
| | | . . . . . 2,194 | 34,8 | 0,06305 |
| 57,857 | 643,7 | | | |
| | | . . . . . 3,801 | 60,2 | 0,06310 |
| 61,658 | 703,9 | | | |
| | | . . . . . 1,741 | 27,6 | 0,06311 |
| 63,399 | 731,5 | | | |
| | | . . . . . 8,347 | 132,3 | 0,06309 |
| 55,052 | 599,2 | | | |

Les rapports des accroissements de volumes absorbés aux accroissements de pression correspondants présentant encore une constance aussi grande que possible, on doit admettre que, pour phosphate de soude comme pour le carbonate, il y a d'abord

une combinaison chimique, puis un phénomène de dissolution véritable. En faisant usage des valeurs moyennes des rapports précédents dans les trois séries d'expériences, savoir 0,05198 pour la solution D, 0,05532 pour la solution E, 0,06308 pour la solution F, on obtient pour valeurs des coefficients de solubilité proprement dite :

0,9635 pour la solution D, à 12°,9
1,0489 pour la solution E, à 13°,5
1,1392 pour la solution F, à 10°,6

Ces coefficients, assez peu différents de ceux du même gaz dans l'eau pure pour la même température (1), sont cependant, comme pour le carbonate de soude, un peu inférieurs, et la différence est d'autant plus grande que la solution saline est plus concentrée. La loi de l'absorption est donc, sous ce rapport, tout à fait analogue.

Quant à la partie du gaz absorbé, qui est indépendante de la pression, on l'obtient encore, en calculant le volume de gaz qui entre à l'état de dissolution proprement dite, au moyen des coefficients de solubilité, et en retranchant le résultat obtenu du volume total absorbé dans l'une quelconque des expériences de chaque série ; on est ainsi conduit, en moyenne, aux valeurs :

170,284 pour la solution D.
86,296 pour la solution E.
17,231 pour la solution F.

Ces quantités d'acide carbonique, qu'on doit considérer comme fixées par une affinité réelle, ont encore un rapport remarquable avec les quantités d'acide du phosphate de soude. Ce sont évidemment ici les poids qu'il convient de comparer entre eux ; or, les poids d'acide phosphorique contenus dans chacune des solutions salines introduites dans l'appareil, sont : 0,5504 pour la solution D; 0,2825 pour la solution E; 0,0564 pour la

(1) La formule de M. Bunsen donne, par le calcul, les valeurs :

1,0690 à 12°,9
1,0847 à 13°,5
1,1588 à 10°,6

solution F. Si l'on suppose qu'à chaque équivalent d'acide phosphorique corresponde un équivalent d'acide carbonique, on trouve que les poids d'acide carbonique retenus à l'état de combinaison par ces solutions, devraient être 0,1703 pour la solution D; 0,0863 pour la solution E; 0,01725 pour la solution F. Or, ces nombres sont sensiblement la moitié des nombres 0,3405, 0,1626, 0,0345, obtenus en multipliant, par la densité de l'acide carbonique, les volumes fournis par l'expérience. On doit donc admettre que, pour chaque équivalent d'acide phosphorique du phosphate, il entre deux équivalents d'acide carbonique à l'état de combinaison; en d'autres termes, en admettant, pour le phosphate de soude, la formule ordinaire $PhO^5$, $(2NaO,HO)$, le nouveau sel formé peut être représenté par la formule $(PhO^5,2Co^2)$, $(2NaO,HO)$. La formule acquiert alors une symétrie remarquable, et le sel est formé de trois équivalents d'acide pour trois équivalents de base; c'est encore là une analogie de plus avec le bicarbonate, dont la formule a été donnée précédemment.

Tous ces résultats peuvent être résumés de la manière suivante : L'action de la solution de phosphate de soude sur l'acide carbonique est double comme celle du carbonate; elle se compose : 1° de la transformation du phosphate tribasique ordinaire en un sel où deux équivalents d'acide carbonique s'ajoutent à l'équivalent d'acide phosphorique, et dont la formule offre une analogie remarquable avec celle du bicarbonate; 2° de l'action dissolvante de ce nouveau sel sur l'acide carbonique, avec un coefficient de solubilité un peu moindre que celui de l'eau pure, et d'autant moindre que le sel est en plus grande proportion. La première phase exigeant, du reste, un volume d'acide carbonique beaucoup plus considérable que la seconde, la solution saline *absorbe*, en définitive, une quantité de gaz bien plus grande que l'eau pure, et d'autant plus grande que la proportion de sel est elle-même plus considérable.

Cette similitude d'action entre les deux sels s'accorde avec une remarque déjà ancienne, faite par plusieurs physiologistes : les

carbonates alcalins peuvent être remplacés, dans le sang, par des phosphates, sans qu'il en résulte de perturbations graves dans les fonctions physiologiques de ce fluide ; mais il doit y avoir entre les proportions de chacun d'eux une sorte de compensation, et l'accroissement des uns concorde toujours, dans l'état normal, avec le décroissement des autres. C'est ce que montre la comparaison des analyses du sang des herbivores et des carnivores, ou du sang d'un même animal soumis à différents régimes.

Je réserve, du reste, les détails relatifs à ce sujet pour le moment où j'aurai à considérer plus spécialement des solutions contenant des proportions de sel comparables à celles qui entrent dans le sang.

3. *Chlorure de sodium et acide carbonique.* — Les solutions de chlorure de sodium ont été préparées au moyen d'une solution titrée de sel marin purifié par plusieurs cristallisations à chaud. L'absorption s'est montrée toujours beaucoup plus petite qu'avec les solutions précédentes, en sorte que j'ai dû opérer, dans la plupart des cas, avec des cylindres à absorption plus petits. Les trois séries d'expériences que je vais citer en particulier sont dans ce cas. Je les choisirai encore parmi celles où j'ai employé des solutions de concentrations assez différentes.

*Série* G.

Titre de la solution. . . . . 0,0625
Volume introduit. . . . . . 36$^{cc}$,20
Température. . . . . . . . 11°,2

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 312,642 | 280,918 | 31,724 | 713,8 |
| » | 284,094 | 28,548 | 642,1 |
| » | 284,984 | 27,658 | 633,8 |
| » | 280,546 | 32,096 | 721,5 |
| » | 282,231 | 30,411 | 683,7 |

*Série* H

Titre de la solution. . . . . 0,0220
Volume introduit. . . . . . 37cc,15
Température. . . . . . . . 14°,1

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 313,529 | 278,847 | 34,682 | 742,8 |
| » | 280,465 | 33,064 | 708,1 |
| » | 283,206 | 30,323 | 649,3 |
| » | 281,390 | 32,139 | 688,1 |
| » | 279,718 | 33,811 | 724,1 |

*Série* I.

Titre de la solution. . . . . 0,0083
Quantité introduite. . . . . 38cc,05
Température. . . . . . . . . 16°,0

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 315,648 | 279,932 | 35,716 | 753,8 |
| » | 282,394 | 33,254 | 701,9 |
| » | 286,177 | 29,471 | 622,1 |
| » | 284,890 | 30,758 | 649,3 |
| » | 284,367 | 31,281 | 724,0 |

Ces résultats diffèrent essentiellement de ceux qu'avaient donnés le carbonate de soude et le phosphate de soude, par la faible valeur du volume de gaz absorbé. C'est là ce qui frappe tout d'abord dans la marche des expériences.

Si maintenant on compare les volumes absorbés aux pressions correspondantes, on voit que les rapports sont sensiblement constants, et ne diffèrent que par des quantités de même ordre que les erreurs d'expériences. Il faut donc admettre que, dans les limites de ces expériences, l'absorption de l'acide carbonique par les solutions aqueuses de chlorure de sodium suit la loi de Dalton, et doit être considérée comme une dissolution véritable.

Les valeurs numériques des coefficients de solubilité s'obtiendront facilement encore au moyen des valeurs moyennes des rapports précédents. Chacun de ces rapports exprime en effet, en centimètres cubes, le volume de gaz dissous par le volume de liquide employé sous une pression de 1 millimètre ; en les multipliant donc par 760, et divisant le produit obtenu par le volume de liquide introduit, on aura le volume de gaz dissous par l'unité

de volume du liquide sous la pression de 760 millimètres, c'est-à-dire le *coefficient de solubilité* du gaz dans la solution saline, à la température de l'expérience.

On obtient ainsi pour valeurs des coefficients de solubilité :

0,9335 pour la solution G, à 11°,2
0,9463 pour la solution H, à 14°,1
0,9591 pour la solution K, à 16°,0

Ces coefficients sont inférieurs à ceux du même gaz dans l'eau pure, pour la même température (1) ; et la différence est encore d'autant plus grande que la solution saline est plus concentrée.

Les résultats précédents démontrent donc que l'action de la solution de chlorure de sodium sur l'acide carbonique n'est plus double, comme l'action des deux sels précédents, et que l'affinité chimique, dont le rôle était si considérable dans l'absorption par les phosphates et les carbonates, n'a plus ici d'influence sensible. Quant à l'action dissolvante proprement dite, elle obéit aux lois ordinaires de la dissolution ; mais, comme dans les deux cas précédents, le coefficient de solubilité prend une valeur moindre que celui de l'eau pure, et d'autant moindre que le sel est en proportion plus considérable. Donc, sous ce dernier rapport, les solutions de phosphate et de carbonate de soude, et les solutions de chlorure de sodium, se comportent d'une manière tout à fait semblable; la principale différence entre elles consiste dans l'intervention ou l'absence d'une action chimique.

Cependant, comme c'est à l'action chimique qu'il faut, dans les deux premiers cas, attribuer la part principale dans la grandeur de l'absorption, la dissolution des phosphates et des carbonates doit être considérée en définitive comme augmentant le pouvoir *absorbant* de l'eau pure pour l'acide carbonique ; la dissolution des chlorures comme agissant d'une manière inverse. Mais, pour le chlorure, ce résultat est dû à une action unique ; pour le carbonate et le phosphate, il est produit par deux actions, dont la plus petite

(1) La formule de M. Bunsen donne, par le calcul, les valeurs :

1,1336 à 11°,2
1,0291 à 14°,1
0,9753 à 16°,0

seulement est comparable à l'action du chlorure, et est masquée par une action contraire.

Toutes ces conclusions s'accordent avec un certain nombre de remarques faites par la physiologie ou la pathologie sur l'influence de certains régimes, ou sur la coïncidence de perturbations graves dans l'économie animale avec la prédominance de tel ou tel élément minéral du sang. Ici encore je réserve tout ce qui est relatif à ces questions, pour les joindre à ce qui regarde l'action des solutions comparables pour la richesse en sel au sang lui-même.

4. *Sérum du sang et acide carbonique.* — Les expériences précédentes permettant de se faire une idée du rôle que jouent, vis-à-vis de l'acide carbonique, les principales matières minérales en dissolution dans le sérum, j'ai entrepris les mêmes recherches sur le sérum lui-même, afin d'en pouvoir déduire, par comparaison, le rôle des matières organiques dissoutes. Ces expériences ont eu pour but, en d'autres termes, de savoir si une solution de sels semblables aux précédents, mélangée surtout d'albumine, se comporte, à l'égard de l'acide carbonique, comme une simple solution de sels minéraux; il importait donc peu d'opérer avec du sang de carnivore ou avec du sang d'herbivore, puisqu'il n'y a entre eux que des différences dans les quantités relatives. A plus forte raison était-il indifférent d'opérer avec du sérum provenant de sang veineux ou de sang artériel. J'ai donc pris simplement du sérum de sang de bœuf, tel qu'on l'obtient en abandonnant à la coagulation spontanée le sang non défibriné des abattoirs, et en séparant la partie fluide aussi promptement que possible.

Pour chasser de ce liquide les gaz qu'il tenait en dissolution, je l'ai placé dans un flacon, au milieu d'un bain d'eau à 55 degrés environ, et je l'ai fait traverser par un courant rapide d'hydrogène bien pur, en ayant soin de continuer le dégagement du gaz, longtemps encore après qu'il ne troublait plus l'eau de chaux : l'oxygène et l'azote se dégageant plus facilement que l'acide carbonique, cette épreuve devait être suffisante; c'est ce que prouve d'ailleurs la constance des résultats. Le liquide encore chaud a été placé ensuite sous le récipient de la machine pneumatique, et sou-

mis au vide, pendant une heure ou une heure et demie, avant d'être introduit dans l'appareil.

J'ai employé tantôt du sérum pur, tantôt du sérum étendu d'eau distillée et bouillie. Voici trois séries d'expériences choisies parmi celles qui ont été faites par ce procédé : dans la première, le sérum a été employé pur ; dans les deux suivantes, il a été étendu d'eau :

*Série* M.

Sérum pur.
Quantité introduite . . . . . $38^{cc},3$
Température . . . . . . . . $15°,2$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 324,581 | 269,889 | 54,692 | 754,3 |
| » | 270,459 | 54,122 | 742,6 |
| » | 271,005 | 53,576 | 731,4 |
| » | 275,044 | 49,537 | 648,3 |
| » | 272,972 | 51,609 | 690,9 |

*Série* N.

Sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien.
Quantité introduite . . . . . . $37^{cc},6$
Température . . . . . . . . . $15°,5$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres |
|---|---|---|---|
| 331,687 | 286,394 | 45,293 | 748,6 |
| » | 287,225 | 44,462 | 731,5 |
| » | 288,546 | 43,141 | 704,3 |
| » | 293,081 | 38,606 | 652,2 |
| » | 288,575 | 43,112 | 703,7 |

*Série* O.

Sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien.
Quantité introduite . . . . . $37^{cc},4$
Température . . . . . . . . $15°,6$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres |
|---|---|---|---|
| 329,658 | 287,189 | 42,469 | 757,3 |
| » | 288,934 | 40,724 | 721,2 |
| » | 290,343 | 39,315 | 692,1 |
| » | 292,874 | 36,784 | 639,7 |
| » | 288.837 | 40,821 | 723,3 |

Les volumes absorbés s'écartent encore de la loi de Dalton ; mais il est facile de voir, en formant des tableaux des accroisse-

ments de volume et des accroissements de pression correspondants, comme je l'ai fait plus haut pour les séries d'expériences relatives au phosphate et au carbonate de soude purs, qu'il y a un rapport constant entre les uns et les autres dans chaque série. Le sérum pur ou étendu d'eau doit donc être considéré lui-même comme exerçant sur l'acide carbonique une action chimique et une action dissolvante. Les *coefficients de solubilité propre*, obtenus au moyen des valeurs moyennes des rapports précédents, comme je l'ai indiqué en détail en traitant de l'action du carbonate de soude, sont :

0,989 pour le sérum pur, à . . . . . . . . . . . . . . 15°,2
0,984 pour le sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien. . . 15°,5
0,982 pour le sérum étendu d'un volume d'eau, deux fois égal au sien. . . . . . . . . . . . . . . . . . 15°,6

J'aurai à revenir plus loin sur les valeurs absolues de ces nombres, pour les comparer à celles qu'on peut obtenir synthétiquement, en déterminant séparément le coefficient de solubilité de solutions salines contenant des quantités de sels comparables à celles du sang, et réunissant ces divers résultats.

En comparant entre eux ces coefficients de solubilité propre, et les rapprochant de celui de l'eau pure pour les températures correspondantes, on remarque qu'ils sont tous inférieurs au coefficient de solubilité de l'eau, mais que l'addition d'eau tend à donner au sérum un coefficient de solubilité qui se rapproche de plus en plus de celui de l'eau pure. Il est donc permis de dire que, pour le sérum comme pour les solutions salines qui ont été l'objet des expériences précédentes, la présence des matières dissoutes tend à diminuer le *coefficient de solubilité propre*, et cela d'autant plus que ces matières sont en quantité plus considérable.

Enfin la portion du gaz absorbé qui est indépendante de la pression, et qu'on peut considérer comme retenue par une affinité chimique, se calcule comme précédemment, et on obtient en moyenne les valeurs suivantes, relatives à l'unité de volume de chaque liquide :

0,4709 pour le sérum pur.
0,2349 pour le sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien.
0,1566 pour le sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien.

Je me réserve de montrer plus loin que les valeurs absolues de ces quantités s'accordent avec l'idée d'une combinaison chimique, semblable à celle dont l'existence a été constatée déjà pour le phosphate et le carbonate ; ce qu'il importe seulement de remarquer ici, c'est que le volume de gaz absorbé à l'état de combinaison diminue avec l'addition d'eau, et dans des proportions qui s'accordent bien avec les idées émises plus haut sur la nature du phénomène.

En résumé donc, le sérum se comporte, à l'égard de l'absorption de l'acide carbonique, comme une solution de phosphate ou de carbonate de soude, et son action se compose : 1° de la fixation d'un certain volume d'acide carbonique, qui doit être considéré comme retenu par une véritable affinité chimique, et qui demeure constant quand on fait varier la pression dans les limites précédentes ; 2° de la dissolution proprement dite d'un autre volume d'acide carbonique, qui varie avec la pression, suivant la loi de Dalton, et dont le coefficient de solubilité propre, un peu moindre que celui de l'eau pure, diminue à mesure que la proportion des matières dissoutes augmente. Pour le sérum, comme pour les solutions de phosphate et de carbonate de soude, la première action étant la plus importante, le liquide *absorbe* en définitive un volume de gaz toujours plus grand que ne ferait l'eau pure à la même température.

L'influence des variations dans la proportion des éléments minéraux du sérum, et le rôle des matières inorganiques seront étudiés d'une manière plus particulière dans la dernière partie de ce travail.

### II. — Expériences sur l'absorption de l'oxygène.

L'oxygène a été préparé au moyen d'un appareil permettant d'obtenir presque immédiatement la quantité de gaz nécessaire à chaque série d'expériences. Pour cela, j'ai introduit dans un long tube de verre vert, semblable à ceux qui servent aux analyses organiques, du chlorate de potasse fondu, pulvérisé et mélangé avec de l'oxyde de cuivre. Ce tube était placé sur une grille de tôle

ordinaire, munie d'écrans : on préparait la quantité de gaz nécessaire à la première expérience, en chauffant le tube sur une petite fraction de sa longueur, à partir de l'extrémité fermée; puis, en chauffant successivement, pour les expériences suivantes, des portions du tube de plus en plus rapprochées de l'extrémité ouverte, on obtenait chaque fois la quantité de gaz nécessaire pour remplir le gazomètre en quelques minutes. On lui faisait d'ailleurs traverser, pour être plus certain de sa pureté, une solution de potasse et un flacon laveur contenant de l'eau distillée.

Le gaz était recueilli dans le gazomètre à mercure que j'ai décrit dans l'exposé général de la méthode, et dont la capacité était suffisante pour remplir d'oxygène le cylindre à absorption autant de fois qu'il était nécessaire.

Les expériences dont je vais citer les résultats sont encore relatives à l'absorption de l'oxygène par les solutions suivantes :

1. *Carbonate de soude*,
2. *Phosphate de soude*,
3. *Chlorure de sodium*,
4. *Sérum du sang*.

1. *Carbonate de soude et oxygène.* — Ce qui distingue surtout ces expériences des précédentes, c'est la faible valeur absolue des quantités de gaz absorbées; aussi ai-je dû opérer, en général, avec des cylindres d'assez petites dimensions, afin de rendre les manipulations plus faciles.

Voici les données de quelques séries d'expériences choisies comme précédemment :

*Série A'.*

Titre de la solution. . . . . 0,0241
Volume introduit. . . . . . . 31$^{cc}$,8
Température. . . . . . . . . 16°,4

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 790 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 280,458 | 279,405 | 1,053 | 753,8 |
| » | 279,420 | 1,038 | 741,2 |
| » | 279,460 | 0,998 | 708,3 |
| » | 279,477 | 0,981 | 693,9 |
| » | 279,435 | 1,023 | 723,8 |

*Série* B'.

Titre de la solution. . . . . 0,0152
Volume introduit . . . . . 30$^{cc}$,5
Température. . . . . . . . 16°,3

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 278,376 | 277,370 | 1,006 | 749,9 |
| » | 277,601 | 0,975 | 722,4 |
| » | 277,637 | 0,939 | 701,4 |
| » | 277,386 | 0,990 | 735,6 |
| » | 277,648 | 0,928 | 683,1 |

*Série* C'

Titre de la solution. . . . . 0,0038
Volume introduit . . . . . . 31$^{cc}$,3
Température. . . . . . . . 15°,8

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 277,503 | 276,523 | 0,980 | 737,9 |
| » | 276,562 | 0,941 | 705,2 |
| » | 276,552 | 0,951 | 712,6 |
| » | 276,516 | 0,987 | 743,1 |
| » | 276,590 | 0,913 | 681,7 |

Ces trois séries d'expériences montrent encore que les volumes de gaz absorbés ne sont pas exactement proportionnels aux pressions; cependant ils ne s'écartent pas à beaucoup près autant de la loi de Dalton que les volumes d'acide carbonique absorbés dans les mêmes circonstances; cette remarque s'applique, non-seulement aux valeurs absolues, mais même aux valeurs relatives des volumes de gaz. En calculant, comme précédemment, les accroissements des volumes de gaz absorbés et les accroissements de pressions correspondants, puis prenant les rapports des uns aux autres, on trouve encore un résultat à peu près constant. Cependant les nombres correspondants aux diverses expériences d'une même série diffèrent un peu plus que dans le cas de l'acide carbonique : pour la série A', par exemple, ils sont compris entre 0,00117 et 0,00124.

Ce résultat général peut tenir à ce que les erreurs commises sur l'évaluation du volume et de la pression peuvent être considérées comme ayant une valeur absolue constante, et dépendent des in-

struments eux-mêmes ; elles doivent, par suite, acquérir une valeur relative plus grande dans la mesure de quantités beaucoup plus petites.

En faisant usage des valeurs moyennes de ces rapports, comme je l'ai indiqué plus haut, on trouve pour valeurs moyennes des *coefficients de solubilité propre :*

0,0282 pour la solution A′ à 16°,4.
0,0290 pour la solution B′ à 16°,3.
0,0293 pour la solution C′ à 15°,8.

Ces coefficients de solubilité sont encore un peu inférieurs à ceux de l'eau pure pour les mêmes températures (1), et ils en diffèrent d'autant plus que la solution saline est plus concentrée.

En retranchant du volume total de gaz absorbé le volume qui se trouve à l'état de dissolution proprement dite, et qu'on peut calculer au moyen du coefficient de solubilité, on trouve encore un certain volume de gaz, dont l'absorption est indépendante de la pression, et dont la valeur calculée moyenne, et rapportée à l'unité de volume du liquide, est :

0,0051 pour la solution A′.
0,0044 pour la solution B′.
0,0029 pour la solution C′.

Ces quantités sont encore d'autant plus grandes que la solution est plus concentrée : elles ne sont cependant pas tout à fait proportionnelles aux quantités de sel contenues dans un même volume des différentes solutions, de sorte qu'on ne peut affirmer, au moins d'après ces résultats, qu'elles leur soient liées par la loi des proportions multiples, comme nous l'avons vu pour l'acide carbonique.

L'absorption d'un certain volume de gaz indépendant de la pres-

(1) M. Bunsen (Mém. cité) déduit les coefficients de solubilité de l'oxygène dans l'eau pure, entre 0° et 20°, des coefficients de solubilité de l'azote obtenus directement, au moyen de la formule :

$$\alpha = 2,0225\ \beta$$

et l'on obtient ainsi en particulier :

$$\text{à } 15°,\ \alpha = 0,02989$$
$$\text{à } 16°,\ \alpha = 0,02949$$

sion se produit donc d'une manière constante, et ce volume est d'autant plus considérable que la solution est plus concentrée : cependant les idées admises en chimie sur la combinaison s'opposent à ce qu'on admette ici un phénomène de ce genre, et je n'ai pu d'ailleurs découvrir encore aucun rapport simple d'équivalents chimiques. Existe-t-il une loi semblable que l'influence relative des erreurs d'expériences sur l'évaluation de quantités beaucoup plus petites empêche de constater? C'est ce que je ne puis affirmer encore. Enfin, on verra plus loin que l'oxygène est retenu, dans ce cas, beaucoup moins énergiquement que l'acide carbonique dans les mêmes circonstances, ce qui doit également être pris en considération dans l'idée qu'il convient de se former du phénomène. Les mêmes remarques seront applicables à la solution de phosphate de soude.

Quelles que soient les idées théoriques à cet égard, on peut tirer des résultats précédents, et de ceux que j'ai obtenus dans d'autres expériences semblables, les conclusions suivantes :

Le volume d'oxygène absorbé par une solution de carbonate de soude se compose : 1° d'une partie proportionnelle à la pression qui se dissout avec un coefficient de solubilité un peu moindre que celui de l'eau pure, et d'autant moindre que la solution est plus concentrée; 2° d'une autre partie indépendante de la pression, qui augmente avec la concentration du sel. La somme de ces deux quantités est telle, que le pouvoir absorbant *total* de la solution est toujours un peu plus grand que celui de l'eau pure, dans les limites des expériences qui précèdent.

2. *Phosphate de soude et oxygène.* — Les mêmes remarques étant à peu près applicables aux solutions de phosphate de soude, je donnerai simplement les tableaux de quelques expériences, en indiquant les principales différences entre les résultats :

*Série* D'.

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0061 |
| Volume introduit. . . . . . | $30^{cc},7$ |
| Température. . . . . . . . | $15^{\circ},9$ |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 279,347 | 278,232 | 1,115 | 756,3 |
| » | 278,358 | 0,989 | 649,2 |
| » | 278,376 | 0,971 | 633,1 |
| » | 278,302 | 1,045 | 695,9 |

*Série* E′

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0022 |
| Volume introduit. . . . . . | 31cc,8 |
| Température. . . . . . . . | 16°,1 |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 276,045 | 275,084 | 0,961 | 748,2 |
| » | 725,175 | 0,870 | 672,4 |
| » | 725,225 | 0,820 | 629,5 |
| » | 725,155 | 0,890 | 688,2 |

*Série* F′.

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0009 |
| Volume introduit. . . . . . | 32cc,3 |
| Température. . . . . . . . | 16°,3 |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 277,156 | 276,215 | 0,941 | 749,3 |
| » | 276,261 | 0,885 | 703,8 |
| » | 276,330 | 0,826 | 654,1 |
| » | 276,286 | 0,870 | 692,3 |

Les valeurs moyennes des coefficients de solubilité, tirées de ces expériences, sont :

0,0290 pour la solution D′ à 15°,9.
0,0286 pour la solution E′ à 16°,1.
0,0284 pour la solution F′ à 16°,3.

Les volumes absorbés, indépendamment de la pression, par l'unité de volume de liquide, sont, en moyenne :

0,0074 pour la solution D′.
0,0021 pour la solution E′.
0,0011 pour la solution F′.

Les observations que je viens de faire, relativement à l'absorption de l'oxygène par les solutions de carbonate de soude, sont complétement applicables à ces expériences. Il n'y a de différence que dans la grandeur des résultats numériques.

3. *Chlorure de sodium et oxygène.* — Les solutions de chlo-

rure de sodium exercent sur l'absorption de l'oxygène une influence qui rappelle tout à fait leur action sur l'absorption de l'acide carbonique. Je citerai seulement deux séries d'expériences qui suffisent pour faire ressortir cette analogie :

*Série* G′.

Titre de la solution. . . . . 0,0542
Volume introduit. . . . . . $35^{cc},41$
Température. . . . . . . . 16°,0

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 273,934 | 272,926 | 1,008 | 761,4 |
| » | 272,991 | 0,943 | 712,8 |
| » | 273,032 | 0,902 | 681,4 |
| » | 273,100 | 0,834 | 629,5 |

*Série* H′.

Titre de la solution. . . . . 0,0072
Volume introduit. . . . . . $35^{cc},16$
Température. . . . . . . . 14°,1

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 276,873 | 275,871 | 1,002 | 755,6 |
| » | 275,938 | 0,935 | 705,8 |
| » | 276,008 | 0,865 | 654,4 |
| » | 276,962 | 0,911 | 690,2 |

Les volumes absorbés sont sensiblement proportionnels aux pressions, et les différences sont des quantités de même ordre que les erreurs d'expériences. L'absorption de l'oxygène suit donc, comme celle de l'acide carbonique, la loi de Dalton, au moins dans les limites actuelles, et le phénomène doit être considéré comme une dissolution véritable.

Les valeurs moyennes des coefficients de solubilité sont :

0,0284 pour la solution G′ à 16°,0.
0,0293 pour la solution H′ à 14°,1.

Ces coefficients sont inférieurs à ceux que donne la formule de M. Bunsen pour le même gaz et l'eau pure, aux mêmes températures : la présence du chlorure de sodium a donc aussi pour effet de diminuer la solubilité de l'oxygène dans l'eau, et de plus, comme cette action est simple et ne se complique d'aucune action

chimique, le résultat définitif est encore une diminution dans le pouvoir absorbant de l'eau pour l'oxygène.

4. *Sérum du sang et oxygène.* — Le sérum employé pour ces expériences a été obtenu, comme pour l'acide carbonique, en abandonnant à la coagulation spontanée du sang de bœuf non défibriné, et séparant la partie liquide aussi promptement que possible. On en a chassé les gaz en le plaçant dans un flacon, au milieu d'un bain à 55 degrés, et le faisant traverser par un courant rapide d'hydrogène pur, comme il a été dit plus haut : le liquide a été placé ensuite quelque temps dans le vide de la machine pneumatique, et introduit immédiatement dans l'appareil.

J'indiquerai ici les résultats de trois séries d'expériences faites l'une avec du sérum pur, l'autre avec du sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien, la troisième avec du sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien. L'eau employée pour étendre le sang était toujours de l'eau distillée et bouillie.

*Série* M'.

Sérum pur.
Volume introduit. . . . . . 33cc,4
Température. . . . . . . . 16°,8

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 283,644 | 282,659 | 0,985 | 748,4 |
| » | 282,703 | 0,941 | 716,3 |
| » | 282,693 | 0,951 | 645,9 |
| » | 282,812 | 0,832 | 631,8 |
| » | 282,721 | 0,923 | 701,5 |

*Série* N'.

Sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien.
Volume introduit. . . . . . 32cc,8
Température. . . . . . . . 16°,5

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres |
|---|---|---|---|
| 286,528 | 285,594 | 0,934 | 747,6 |
| » | 285,647 | 0,881 | 705,1 |
| | 285,725 | 0,803 | 639,2 |
| » | 285,741 | 0,787 | 625,3 |
| » | 285,633 | 0,895 | 713,6 |

*Série* O'.

Sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien.
Volume introduit . . . . . . 33cc,8
Température. . . . . . . . 16°,4

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 279,307 | 278,351 | 0,956 | 751,5 |
| » | 278,399 | 0,908 | 713,9 |
| » | 278,416 | 0,891 | 701,6 |
| » | 278,496 | 0,811 | 639,3 |
| » | 278,431 | 0,876 | 691,8 |

Ces expériences montrent que le sérum s'écarte beaucoup moins de la loi de Dalton pour l'absorption de l'oxygène que pour celle de l'acide carbonique. Elles donnent pour valeurs des coefficients de *solubilité propre :*

0,0288 pour le sérum pur, à 16°,8.
0,0285 pour le sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien, à 16°,5.
0,0282 pour le sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien, à 16°,4.

Les volumes d'oygène absorbés, indépendamment de la pression par l'unité de volume de liquide, sont :

0,00117 pour le sérum pur.
0,00061 pour le sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien.
0,00037 pour le serum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien.

Ces résultats ne donnent lieu, relativement aux coefficients de solubilité, à aucune remarque nouvelle. Les volumes absorbés, indépendamment de la pression, ont au contraire une valeur plus grande qu'on n'aurait pu le prévoir d'après les résultats donnés par le phosphate de soude et le carbonate de soude : les matières organiques du sérum paraissent donc agir en fixant un certain volume d'oxygène. Je me contente en ce moment de cette simple remarque, me réservant de revenir avec détail sur ce sujet dans le dernier chapitre.

### III. — Expériences sur l'absorption de l'azote.

L'azote a été préparé en laissant l'air pendant un certain temps en présence du phosphore, et le faisant passer ensuite sur d'autres substances capables de lui enlever jusqu'aux dernières traces

d'oxygène. J'ai fait usage pour cela de l'appareil décrit et figuré par M. H. Deville (1) dans le second Mémoire de son remarquable travail sur les carbonates métalliques. Il se compose, comme on sait, de deux flacons à trois tubulures, d'une capacité de 10 à 12 litres environ, contenant des bâtons de phosphore, et communiquant entre eux par un tube de caoutchouc qui permet, en élevant alternativement l'un ou l'autre, de faire passer l'eau qu'il contient dans le flacon voisin. Pendant que le gaz contenu dans le flacon inférieur est ainsi chassé, le flacon supérieur peut se remplir d'air, qui abandonne son oxygène au phosphore : il suffit alors d'élever, au bout de quelques heures, le flacon inférieur, et réciproquement, pour obtenir une nouvelle quantité d'azote parfaitement débarrassé d'oxygène, et ainsi de suite. L'air est entré dans les flacons en traversant une solution de potasse, qui le débarrasse de son acide carbonique, et, pour enlever les dernières traces d'oxygène, on fait, en outre, passer le gaz qui sort des flacons à travers une solution de protochlorure de cuivre dans le sel marin, et à travers une solution d'acide pyrogallique dans la potasse concentrée. Je renvoie, pour les détails de l'appareil et de la manipulation, au mémoire que je viens de citer (2) ; il est d'un emploi très simple et nullement dispendieux : j'ai vérifié moi-même, dans plusieurs circonstances, que le gaz fourni par cette méthode ne contient, ni traces d'oxygène, ni vapeurs de phosphore, après avoir traversé les diverses pièces de l'appareil. Le phosphore est un absorbant tellement sensible, comme le fait remarquer M. Deville, qu'il suffit de faire arriver dans le flacon inférieur un demi-centimètre cube d'air, pour voir l'atmosphère parfaitement limpide de ce flacon se remplir de fumées blanches, et les bâtons de phosphore s'entourer d'une auréole lumineuse dans l'obscurité. J'ai supprimé les pièces qui, dans l'appareil de M. Deville, contiennent de la ponce sulfurique destinée à dessécher le gaz : je les ai remplacées, au contraire, par un petit

(1) H. Sainte-Claire Deville, *Des carbonates métalliques et de leurs combinaisons avec les carbonates alcalins et ammoniacaux*, 2e mémoire (*Annales de chim. et phys.*, 1852, 2e série, t. XXXV, p. 441).

(2) *Ibid.*, p. 442 et suivantes.

flacon contenant de l'eau distillée pour saturer le gaz d'humidité.

On employait, dans chaque série d'expériences, une partie de l'azote qui était contenu dans l'un des flacons, et qui y avait séjourné plusieurs heures, pour remplir un certain nombre de fois le cylindre à absorption.

Les expériences ont porté sur les mêmes solutions salines que l'absorption de l'oxygène et de l'acide carbonique; mais les résultats fournis par chacune d'elles ne donnent lieu à aucune remarque particulière, et l'absorption du gaz par l'eau pure ne paraît modifiée, dans tous les cas, que par une diminution à peine sensible du coefficient d'absorption. Je donnerai donc seulement le détail d'une série d'expériences pour chaque genre de sels, de deux séries relatives au sérum, et je dirai ensuite, en quelques mots, quelles sont les conclusions qui me paraissent en pouvoir être déduites :

*Série A″. — Carbonate de soude.*

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0260 |
| Volume introduit. . . . . . | 34cc,8 |
| Température. . . . . . . . | 14°,1 |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 282,649 | 282,165 | 0,484 | 743,2 |
| » | 282,188 | 0,461 | 708,5 |
| » | 282,219 | 0,430 | 663,2 |
| » | 282,231 | 0,418 | 641,4 |
| » | 282,197 | 0,452 | 693,9 |

*Série D″. — Phosphate de soude.*

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0066 |
| Volume introduit. . . . . . | 35cc,1 |
| Température. . . . . . . . | 14°,4 |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 281,536 | 281,051 | 0,485 | 749,5 |
| » | 281,075 | 0,461 | 713,2 |
| » | 281,103 | 0,433 | 673,1 |
| » | 281,114 | 0,422 | 654,8 |
| » | 281,084 | 0,452 | 701,3 |

*Série G″. — Chlorure de sodium.*

| | |
|---|---|
| Titre de la solution. . . . . | 0,0581 |
| Volume introduit. . . . . . | 33cc,7 |
| Température. . . . . . . . | 13°,9 |

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 278,311 | 277,834 | 0,477 | 751,2 |
| » | 277,853 | 0,458 | 722,3 |
| » | 277,868 | 0,443 | 701,6 |
| » | 277,902 | 0,409 | 649,5 |

*Série* M″. — *Sérum.*

Sérum pur.
Volume introduit. . . . . . . 34cc,5
Température. . . . . . . . 15°,3

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 279,548 | 279,068 | 0,480 | 748,3 |
| » | 279,099 | 0,449 | 701,5 |
| » | 279,087 | 0,461 | 721,4 |
| » | 279,112 | 0,436 | 683,8 |

*Série* N″. — *Sérum.*

Sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien.
Volume introduit. . . . . . . 33cc,4
Température. . . . . . . . 15°,6

| Volume inital du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 277,616 | 277,149 | 0,467 | 746,4 |
| » | 277,170 | 0,446 | 713,5 |
| » | 277,215 | 0,401 | 642,4 |
| » | 277,200 | 0,416 | 667,2 |
| » | 277,182 | 0,434 | 698,5 |

Les volumes de gaz absorbés sont, dans tous ces cas, très sensiblement proportionnels aux pressions : les quelques différences qui se présentent sont du même ordre de grandeur que les erreurs d'expériences. L'absorption de l'azote par toutes ces solutions salines, et par le sérum lui-même, peut donc être regardée comme une dissolution simple, obéissant à la loi de Dalton, au moins dans les limites actuelles.

Les valeurs des coefficients de solubilité sont :

0,0142 pour la solution A″, à 14°,1.
0,0140 pour la solution D″, à 14°,4.
0,0143 pour la solution G″, à 13°,9.
0,0141 pour le sérum pur, à 15°,3.
0,0142 pour le sérum étendu de deux fois son volume d'eau, à 15°6.

Ces coefficients sont un peu inférieurs à ceux que fournit la formule de M. Bunsen pour l'eau pure aux mêmes tempéra-

tures (1); ce qui confirme cette idée générale dont nous avons vu déjà plusieurs vérifications, que la dissolution préalable d'un sel dans l'eau diminue son pouvoir dissolvant pour les gaz.

Cette diminution est ici très faible, et ne se complique d'aucune action chimique, de sorte que les solutions salines et le sérum doivent être considérés comme agissant sur l'azote à très peu près comme l'eau pure ; le pouvoir dissolvant est seulement plus faible.

De là résulte que la théorie de Vierordt et les lois de la dissolution simple seront complétement applicables à l'action du sang sur l'azote, s'il est démontré que les globules n'ont pas sur lui d'action spéciale. Elles suffiront pour rendre compte de l'absorption de ce gaz, ou du dégagement observé dans d'autres circonstances : les dissidences entre les résultats de l'expérience (2), que toutes les autres théories sont impuissantes à expliquer, apparaîtront comme des conséquences nécessaires de l'excès de pression exercée par l'azote de l'air sur l'azote dissous, ou réciproquement.

## CHAPITRE IV.

### DU RÔLE DES DIVERS ÉLÉMENTS DU SANG DANS L'ABSORPTION OU LE DÉGAGEMENT DES GAZ.

Les recherches qui font l'objet du chapitre précédent ont fait connaître la nature intime de l'action exercée par les solutions salines et le sérum sur les gaz, et permettent de se faire une idée

(1) La formule donnée par M. Bunsen (Mém. cité), pour déterminer le coefficient de solubilité de l'azote dans l'eau pure, entre 0° et 20°, est :

$$c = 0{,}20346 - 0{,}00053887\,t - 0{,}000011156\,t^2,$$

d'où l'on déduit en particulier :

à 14°, $c = 0{,}01500$
à 15°, $c = 0{,}01478$
à 16°, $c = 0{,}01458$

(2) Voir l'énumération des résultats contraires, obtenus à ce sujet par les divers expérimentateurs, dans l'ouvrage déjà cité : M. Edwards, *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*. Paris, 1847, t. I, p. 485 et suiv.

exacte de la loi du phénomène. Celles que je vais maintenant exposer ont eu d'abord pour but de fixer les valeurs numériques qui conviennent spécialement aux proportions mêmes des éléments du sérum, et de savoir avec quelle énergie les gaz qui sont chimiquement combinés sont retenus dans ces combinaisons, ou avec quelle facilité ils peuvent en être dégagés. Ces notions acquises pour chaque sel en particulier, j'en ai pu assigner définitivement le rôle dans l'absorption ou le dégagement des gaz, et j'ai rapproché les conclusions auxquelles j'ai été conduit des résultats déjà obtenus par la pathologie ou la physiologie comparée, autant que le permet l'état actuel de la science. La comparaison de ces données avec celles qui ont été fournies par les mêmes méthodes pour le sérum et pour le sang tout entier m'a permis de mieux préciser qu'on n'avait pu le faire jusqu'ici l'influence relative des substances organiques dissoutes et des globules eux-mêmes, dans les diverses phases de la respiration. Enfin j'ai ajouté à ces recherches quelques expériences qui m'ont paru de nature à confirmer ces idées, et qui sont relatives surtout aux changements de couleur obtenus en mélangeant au sang quelques-uns des sels dont j'ai fait spécialement l'étude.

L'exposé de ces recherches sera divisé comme il suit :

I. Du rôle des carbonates dans l'action du sang sur les gaz.
II. Du rôle des phosphates dans l'action du sang sur les gaz.
III. Du rôle des chlorures dans l'action du sang sur les gaz.
IV. Du rôle du sérum tout entier dans l'action du sang sur les gaz.
V. De l'influence des globules du sang sur l'absorption ou le dégagement des gaz.

### I. — Du rôle des carbonates dans l'action du sang sur les gaz.

D'après les analyses détaillées du sang publiées jusqu'ici par les divers auteurs, la quantité moyenne de carbonates alcalins contenus dans le sang de l'homme et des mammifères voisins de lui est d'environ 0,0025 dans l'état normal. On trouve quelques variations sous ce rapport chez les divers individus, et surtout chez les individus soumis à des régimes différents, soit d'une manière constante, soit d'une manière passagère, mais elles correspondent

en général à des différences en sens inverse dans la quantité de phosphates. Il y a, sous le rapport de la fonction qui nous occupe, une sorte de compensation entre ces deux groupes de corps dissous, dont j'ai déjà fait entrevoir l'importance, et sur laquelle j'insisterai avec plus de détails, lorsque l'étude complète des deux sels me permettra d'en considérer simultanément l'action. Il en est, du reste, de même quand on compare des animaux d'espèces diverses. Le nombre précédent doit donc être considéré simplement comme une approximation à peu près suffisante de la richesse du sang en carbonates alcalins chez les mammifères.

De tous les carbonates en dissolution dans le sang, celui qui est de beaucoup le plus abondant est le carbonate de soude; j'ai donc répété d'abord les expériences faites au moyen de la méthode d'absorption avec des solutions de carbonate de soude se rapprochant du titre de 0,0025, ou ayant un titre inférieur.

La loi précédemment déterminée s'applique exactement à ces solutions; je me contente donc de donner ici les résultats numériques relatifs aux conditions actuelles. Ces valeurs ont été obtenues par la méthode indiquée dans le chapitre précédent; les nombres sont tous rapportés à l'unité de volume du liquide.

*Solution de carbonate de soude à* 0,001.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,2074 |
| — | Coefficient de solubilité propre, à 15°,2 . . . | 0,9127 |
| | Volume total absorbé à 15°,2 et 760mm. . . | 1,1201 |
| Oxygène. . . . | Volume total absorbé à 14°,9 et 760mm. . . | 0,0312 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 14°,8 et 760mm. . . | 0,0151 |

*Solution de carbonate de soude à* 0,0014.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,2896 |
| — | Coefficient de solubilité propre, à 15°,4 . . . | 0,9019 |
| | Volume total absorbé à 15°,4 et 760mm. . . | 1,1915 |
| Oxygène. . . . | Volume total absorbé à 15°,5 et 760mm. . . | 0,0319 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 15°,1 et 760mm. . . | 0,0145 |

*Solution de carbonate de soude à* 0,0025.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,4190 |
| — | Coefficient de solubilité propre, à 16°,2 . . . | 0,9002 |
| | Volume total absorbé à 16°,2 et 760mm. . . | 1,3192 |
| Oxygène. . . . | Volume total absorbé à 16°,1 et 760mm. . . | 0,0332 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 15°,8 et 760mm. . . | 0,0143 |

Le résultat le plus saillant de ces expériences est que la présence de 0,001 à 0,0025 de carbonate de soude accroît très sensiblement le pouvoir absorbant de l'eau pour l'acide carbonique, à une même température : le phénomène obéit encore à la loi précédente, comme on peut le vérifier par le calcul, dans chacune des expériences. Je ferai remarquer en outre que des variations, même assez faibles en valeur absolue, dans la quantité de sel, augmentent ou diminuent d'une quantité notable le volume total d'acide carbonique absorbé.

Pour l'oxygène, au contraire, le pouvoir absorbant, déjà assez peu considérable pour l'eau pure, et un peu accru par la présence d'une quantité de carbonate de soude voisine de celle qui existe dans le sang, l'est cependant beaucoup moins que dans le cas de l'acide carbonique, et les petites variations qui peuvent survenir dans la quantité de sel ont une influence beaucoup moindre sur le volume de gaz absorbé.

Enfin, l'absorption de l'azote ne semble pas influencée d'une manière sensible par la présence du carbonate de soude.

Les solutions de carbonate de soude pouvant, dans certains cas, absorber un volume de gaz dont une partie se soustrait à l'influence de la pression et suit la loi des proportions multiples, il était important de savoir si les causes qui chassent en général les gaz de leur dissolution seraient suffisantes pour dégager la totalité ou une partie seulement des volumes de gaz absorbés dans les cas actuels. J'ajouterai même que, pour l'acide carbonique, c'était là, au point de vue de la fonction de respiration, l'une des questions les plus importantes.

Les expériences de H. Rose (1) sur les carbonates alcalins, celles de Marchand (2) sur le même sujet, une expérience de M. Meyer (3), et beaucoup d'autres, tendaient déjà à faire penser

(1) Heinrich Rose, *Ueber die Verbindungen der Alkalien mit der Kohlensaure* (*Pogg. Ann.*, Leipzig, 1835, Band XXXIV, Seite 149).

(2) Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut und seine Bestandtheile* (*Journ. fur prakt. Chemie*, Leipzig, 1845, Band XXXV, Seite 385).

(3) Thèse citée, *Die Gase des Blutes*, Göttingen, 1857, Seite 46), et *Zeitschrift*

que l'acide carbonique absorbé par une solution de carbonate simple, pour passer à l'état de bicarbonate, pouvait être dégagé, tantôt en partie, tantôt à peu près en totalité, sous l'action du vide, d'un courant de gaz, ou de l'ébullition à l'air libre.

J'ai repris la question, en appliquant à des solutions salines, préalablement saturées de gaz, la méthode de Baumert pour les gaz, et la modifiant un peu, comme je l'ai indiqué. J'ai fait ensuite quelques expériences, en cherchant à déplacer les gaz absorbés par le passage d'autres gaz, et opérant à une température de 35 à 40 degrés.

Pour préparer les solutions saturées destinées à être introduites dans l'appareil de Baumert (1), je les plaçais dans un flacon auquel étaient adaptés trois tubes, l'un servant à l'arrivée du gaz et plongeant par conséquent dans le liquide, l'autre pour le dégagement du gaz et partant de la partie supérieure du flacon, enfin un troisième tube plongeant dans le liquide et se recourbant au dehors en forme de siphon : ces trois tubes étaient mastiqués à la partie supérieure du flacon, et le dernier, qui était muni d'un robinet à sa sortie du flacon, servait au passage du liquide dans le ballon de l'appareil, de la manière suivante. Au moment où la solution était saturée, on fermait la sortie du gaz, de manière que la pression s'accrût dans le flacon; on ouvrait un instant le robinet du siphon, afin que les trois branches se remplissent de liquide, et l'on introduisait rapidement la grande branche jusqu'au fond du ballon de l'appareil, dans lequel se trouvait de l'eau distillée et bouillie. Au moment où l'on ouvrait de nouveau le siphon, la solution passait du flacon dans le ballon, qui était rempli en quelques instants jusqu'à un trait marqué sur le verre. La solution arrivant sous l'eau, et l'opération durant quelques secondes, on peut admettre qu'il n'y avait pas de dégagement de gaz dans l'air extérieur; on ne distinguait, du reste, aucune bulle gazeuse, et la concordance des résultats peut encore être considérée comme une confirmation de cette hypothèse. On achevait de remplir avec

*für rationelle Medizin*, von Henle und Pfeufer, Leipzig, neue Folge, Band VIII, Seite 301.

(1) Voir page 148 et 151.

de l'eau distillée et bouillie, et l'on opérait en suivant le procédé de Baumert, modifié comme il a été dit.

Ce procédé, d'un emploi parfaitement simple dans tous les cas semblables, a indiqué, dans les expériences relatives à l'acide carbonique, un volume de gaz dégagé par l'ébullition dans le vide sensiblement égal au volume qui avait dû être absorbé par le volume de solution introduit, d'après la loi précédente d'absorption. La différence a été, en général, de 45 à 50 millièmes sur le volume de gaz dégagé, en moins, ce qui peut être attribué à diverses causes, comme une perte de gaz dans la mesure, ou une nouvelle absorption pendant le refroidissement, ou enfin un dégagement incomplet. Il a suffi d'ailleurs toujours d'une température de 45 à 50 degrés pour achever de chasser tout le gaz, et voir les grosses bulles de vapeur succéder dans le ballon aux petites bulles gazeuses. Cette température, jointe à l'action du vide, est donc suffisante, pour opérer le dégagement de tout l'acide carbonique, à l'exception de la quantité nécessaire pour former un carbonate simple.

Avec l'oxygène, le dégagement de gaz s'est fait plus rapidement encore qu'avec l'acide carbonique, et le volume de gaz dégagé n'a différé encore que de quelques millièmes du volume calculé au moyen de la loi d'absorption, en tenant compte des conditions de l'expérience. Le dégagement des bulles gazeuses s'est, en outre, terminé toujours bien avant que le dégagement des bulles de vapeur commençât à se produire.

Il ne m'a pas paru nécessaire, d'après les résultats déjà obtenus, de répéter ces mêmes expériences avec l'azote.

Pour avoir une idée de la facilité avec laquelle ces mêmes gaz peuvent être chassés de la solution de carbonate de soude par un gaz de nature différente, j'ai placé les solutions salines saturées de gaz, comme précédemment, dans des flacons hermétiquement bouchés et munis de deux tubes : l'un, plongeant dans le liquide, servait à l'arrivée d'un courant d'hydrogène bien pur; l'autre, partant du sommet du flacon, servait à la sortie. J'ai opéré tantôt à la température ordinaire, en laissant le flacon à l'air libre; tantôt à une température de 35 à 40 degrés, en plaçant le flacon

dans un bain d'eau dont on maintenait la température à peu près constante, en y ajoutant de l'eau chaude à de courts intervalles. L'évaluation exacte de la température n'ayant ici aucune importance, ce moyen grossier était parfaitement suffisant pour indiquer les différences apportées par l'évaluation de température.

A la température de 40 degrés environ, j'ai trouvé constamment que la transformation du bicarbonate en carbonate simple était complète, pourvu qu'on fît passer l'hydrogène pendant un temps suffisant. La quantité d'acide carbonique condensée par des tubes à potasse à la sortie du gaz ne différait que de quelques millièmes de celle qui était demeurée dans la solution. M. Marchand, en opérant à la température de 38 degrés, était arrivé déjà à un résultat semblable (1).

A la température ordinaire, c'est-à-dire de 14 à 15 degrés, la quantité d'acide carbonique condensée par les tubes à potasse, à la sortie du gaz, était à la quantité demeurée dans la solution dans un rapport dont la valeur a varié de $\frac{5}{9}$ à $\frac{7}{12}$ environ. La décomposition a donc été bien moins complète qu'à la température de 40 degrés. M. Marchand avait trouvé que, à la température de 0 degré, le bicarbonate se transforme très sensiblement en sesquicarbonate, ce qui donnerait pour valeur du rapport précédent $\frac{1}{3}$ à cette température. La décomposition a été au moins poussée beaucoup plus loin dans le cas actuel, ce qui, sans doute, est dû encore à la différence de température (2).

Sans vouloir tirer de ces différences, dont la valeur absolue demanderait sans doute à être fixée par des expériences plus précises, de conclusions numériques, on peut au moins remarquer que l'élévation de température a une influence considérable sur la décomposition de ces bicarbonates, et cela, même quand la température varie dans des limites assez restreintes. En outre, une température voisine de celle du corps des mammifères et des oiseaux est suffisante pour que la transformation des bicarbonates

(1) R. F. Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut, und seine Bestandtheile* (*Journ. fur prakt. Chem.*, Leipzig, 1845, Band XXXV, Seite 385).

(2) Marchand, *ibid.*, Seite 388.

en carbonates simples soit *possible*, même d'une manière complète, sous l'action d'un courant de gaz qui n'exerce aucune action chimique. Enfin, des variations de température, comme celles auxquelles peuvent être soumis les animaux à sang froid, peuvent exercer sur la décomposition des bicarbonates une influence très grande : peut-être faut-il chercher dans cette cause l'explication d'une partie au moins des différences observées dans les quantités d'acide carbonique exhalées par ces animaux à diverses températures (1) : il faut d'ailleurs évidemment y joindre d'autres influences tendant au même résultat, comme l'augmentation dans l'absorption de l'oxygène, sur laquelle j'aurai à revenir plus loin. Les mêmes différences ont été observées chez les animaux hibernants, dont la respiration se rapproche à tant de points de vue de celle des animaux à sang froid (2).

L'oxygène, absorbé par une solution semblable, a de même été chassé à peu près complétement par l'hydrogène dans les mêmes circonstances, ce qui devait à peine être l'objet d'un doute, d'après les expériences précédentes.

Enfin toutes ces expériences ont été faites sur un seul carbonate, le carbonate de soude; le sang contient, il est vrai, quelques autres bases, comme la potasse, la chaux, la magnésie, mais elles sont en quantité relative très petite par rapport à la soude.

En outre, M. Schmidt, de Dorpat, a démontré récemment (3),

(1) On peut voir à ce sujet : Delaroche, *Sur l'influence que la température exerce dans les phénomènes chimiques de la respiration*, Thèse. Paris, 1806. — Sennebier, *Rapports de l'air avec les êtres organisés*, t. I, p. 30, et t. II, p. 357 et suiv. — W. Edwards, *Influence des agents physiques sur la vie*, p. 27 et suiv., p. 648 et suiv. — Treviranus, *Versuch uber das Athemholen der niedern Thiere* (*Zeitschrift für Physiologie*, Band IV, Seite 23). — Marchand, *Ueber die Respiration des Frosches* (*Journal für praktische Chemie*, 1844, Band XXXIII, Seite 151).

(2) Regnault et Reiset, *Recherches sur la respiration* (*Ann. de chim. et de phys.*, 1849, 3e série, t. XXVI).

(3) Schmidt, *Characteristick der epidemischen Cholera*, 1850. — Voir, en outre, sur les proportions relatives de la soude et de la potasse dans le sang : Enderlin, *Ueber den Kaligehalt des Blutes* (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, Band LXXV, Seite 150, et *Annales de chimie et de physique*, 1851).

que la potasse est presque complétement localisée dans les globules, la soude se trouvant au contraire presque tout entière dans le sérum. Enfin les carbonates voisins doivent avoir une action peu différente, et qui, en raison de la faible proportion de ces corps, doit être considérée comme tout à fait semblable à celle du carbonate de soude. Les remarques relatives à ce carbonate peuvent donc être considérées comme s'appliquant aux carbonates du sérum en général.

Je joindrai les conclusions relatives au rôle des carbonates et à l'influence que peuvent exercer sur la respiration l'augmentation ou la diminution de ces sels dans le sérum, aux conclusions analogues que j'aurai à présenter sur les phosphates.

### II. — Du rôle des phosphates dans l'action du sang sur les gaz.

Les analyses détaillées des éléments minéraux du sang donnent le nombre 0,00034, comme exprimant la moyenne des quantités de phosphates alcalins contenus dans le sang de l'homme et des animaux voisins, dans l'état normal. J'ai donc soumis à des expériences semblables à celles que je viens de décrire des solutions de phosphate de soude, à différents titres, voisins de 0,00034.

La loi d'absorption ayant été déterminée pour ce sel comme pour le carbonate, voici le résultat des recherches d'absorption faites en vue de déterminer exactement les données numériques; elles sont également rapportées à l'unité de volume du liquide.

*Solution de phosphate de soude à* 0,00068.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,0962 |
| — | Coefficient de solubilité propre, à 16°,3 . . . | 0,9013 |
| | Volume total absorbé à 16°,3 et 760mm. . . | 0,9975 |
| Oxygène . . . . | Volume total absorbé à 15°,9 et 760mm. . . | 0,0315 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 15°,6 et 760mm. . . | 0,0144 |

*Solution de phosphate de soude à* 0,00033.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,0528 |
| — | Coefficient de solubilité propre, à 16°,4 . . . | 0,9018 |
| | Volume total absorbé à 16°,4 et 760mm. . . | 0,9546 |

| | | |
|---|---|---|
| Oxygène. . . . | Volume total absorbé à 15°,6 et 760mm. . . | 0,0308 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 15°,2 et 760mm. . . | 0,0141 |

*Solution de phosphate de soude à* 0,00015.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Volume absorbé, indépendant de la pression . . | 0,0253 |
| — | Coefficient de solubilité propre à 16°,3 . . . | 0,9927 |
| | Volume total absorbé à 16°,3 et 760mm. . . | 0,9280 |
| Oxygène. . . . | Volume total absorbé à 16°,5 et 760mm. . . | 0,0301 |
| Azote. . . . . | Volume total absorbé à 15°,1 et 760mm. . . | 0,0139 |

Ici, comme pour le carbonate de soude, la présence du sel accroît notablement le pouvoir absorbant de l'eau pour l'acide carbonique, et le calcul démontre que le phénomène obéit à la loi énoncée dans le chapitre précédent. En outre, l'addition d'une quantité de sel très faible en valeur absolue augmente très sensiblement le volume d'acide carbonique absorbé.

Pour l'oxygène, le pouvoir absorbant de l'eau pure, assez faible déjà, reçoit un petit accroissement par la présence d'une quantité de phosphate de soude voisine de celle qui existe dans le sang, mais les variations dans la proportion relative du sel n'ont qu'une influence peu importante sur l'absorption du gaz, dans les limites actuelles.

L'absorption de l'azote ne subit que des variations qui sont du même ordre que les erreurs d'expériences.

J'ai cherché encore, comme dans le cas précédent, quelle serait l'influence des causes qui chassent en général les gaz de leurs dissolutions, c'est-à-dire du vide ou du passage d'un autre gaz.

La méthode de M. Baumert, appliquée à des solutions saturées d'acide carbonique, comme il a été dit, a donné des résultats semblables à ceux que j'ai indiqués pour le carbonate de soude; le dégagement du gaz absorbé s'est fait de la même manière, et l'expérience a présenté les mêmes phases. Le dégagement de gaz s'est fait seulement en général avec un peu plus de rapidité ; on serait ainsi porté à conclure que la force qui retient le gaz serait un peu moins énergique, à en juger par cette différence qui n'est pas d'ailleurs assez considérable pour que je doive insister davantage. Quant aux volumes de gaz dégagés, après une ébullition effectuée

à une température de 45 à 50 degrés, ils ont toujours été trouvés sensiblement égaux aux volumes calculés d'après la loi d'absorption. Les différences ont encore été de 30 à 35 millièmes sur le volume de gaz dégagé, en moins, ce qui peut, comme dans le cas précédent, s'expliquer par des erreurs d'expériences, par un dégagement incomplet des gaz, ou par une nouvelle absorption pendant le refroidissement. La combinaison de l'acide carbonique avec le phosphate de soude ordinaire peut donc, si elle se produit, être détruite complétement, sous l'action du vide et d'une température à peu près comparable à celle de l'économie animale.

Enfin, la différence que je viens de signaler pour l'acide carbonique, dans la rapidité du dégagement du gaz, a été plus prononcée encore pour l'oxygène. Les bulles gazeuses ont commencé à se dégager en abondance dès que la communication a été établie entre le ballon et les deux autres pièces de l'appareil ; ce dégagement a continué pendant environ un quart d'heure, et l'élévation de température n'a eu d'autre résultat, dans chaque expérience, que de dégager quelques autres petites bulles gazeuses, et de donner ensuite naissance à de grosses bulles de vapeur. Sous l'influence du vide, l'oxygène ne paraît donc retenu dans la solution que par une force très faible ; le volume de gaz dégagé s'est du reste montré toujours sensiblement égal au volume calculé d'après la loi d'absorption, en tenant compte des conditions de l'expérience.

L'étude du dégagement de l'azote ne m'a pas paru, pour toutes les raisons déjà plusieurs fois développées, devoir conduire à des résultats dignes de remarque.

Les solutions de phosphate de soude saturées d'acide carbonique ont été également traitées par un courant de gaz inerte ; les expériences ont été faites à la température ordinaire, ou à la température de 40 degrés environ. Les résultats ont été les mêmes que pour le carbonate de soude, avec cette différence que la même élévation de température exerce ici une influence un peu moindre que sur la décomposition des bicarbonates, et à la température ordinaire la décomposition est presque aussi complète qu'à

40 degrés. La différence a été cependant de $\frac{1}{15}$ en moins à 14 degrés, sur la quantité totale d'acide carbonique dégagée à 40 degrés ; cette dernière quantité était sensiblement égale à la quantité totale contenue dans la solution, d'après la loi d'absorption précédente.

L'oxygène absorbé par les mêmes solutions a été dégagé intégralement par un courant d'hydrogène, comme on pouvait le prévoir facilement d'après les résultats déjà obtenus.

Enfin, toutes ces expériences, faites sur le phosphate de soude seul, permettent de se faire une idée générale du rôle des phosphates du sérum en général, puisque la soude se trouve particulièrement dans le sérum, la potasse étant au contraire localisée dans les globules (1), et que les autres bases sont en quantité très faible relativement aux deux précédentes. Cette généralisation paraît donc complétement légitime dans l'état actuel de la science.

Les résultats obtenus relativement aux carbonates et aux phosphates conduisent donc aux remarques générales suivantes :

L'action la plus remarquable de ces deux groupes de sels sur les gaz de la respiration consiste dans l'absorption de l'acide carbonique, en vertu d'une véritable affinité chimique qui vient, pour tous deux, s'ajouter à la force dissolvante. Quoique leur présence diminue le coefficient de *solubilité propre*, comme cela paraît être pour la plupart des corps dissous, l'intervention de l'action chimique rend en définitive la quantité de gaz *absorbée* beaucoup plus considérable que pour l'eau pure.

Cette différence est assez grande pour que, dans les limites même des variations observées par les recherches de pathologie ou de physiologie comparée, la conséquence d'un accroissement ou d'une diminution dans la quantité de l'un de ces deux corps soit un accroissement ou une diminution dans le pouvoir absorbant total pour l'acide carbonique, et par conséquent dans la rapi-

(1) Schmidt, *Characteristik der epidemischen Cholera*, 1850. On peut voir aussi sur les proportions relatives de la soude et de la potasse dans le sang : Enderlin, *Ueber den Kaligehalt des Blutes* (*Ann. der Chem. und Pharm.*, Band LXXV, Seite 150, et *Annales de chim. et de phys.*, 1851).

dité avec laquelle ce gaz est transmis des organes à l'air extérieur, par l'intermédiaire du sang.

L'acide carbonique absorbé par ces solutions salines, bien qu'il doive être considéré comme obéissant à une loi plus complexe que celle de la dissolution, peut cependant être dégagé d'une manière complète sous l'influence des causes qui détruisent complétement la dissolution elle-même, c'est-à-dire le vide aussi parfait que possible, ou, ce qui revient au même, le passage continu d'un gaz étranger. Dans ces deux cas donc, il se comporte, au point de vue du résultat définitif, absolument comme un gaz dissous.

L'influence des mêmes sels sur l'absorption de l'oxygène a beaucoup moins d'importance : elle diffère surtout de la précédente par la faible valeur de l'accroissement donné au pouvoir absorbant total de l'eau pure, par ces deux groupes de sels. La conséquence de la présence de l'un d'eux est cependant toujours un petit accroissement dans le pouvoir absorbant. Le gaz absorbé peut d'ailleurs se dégager entièrement dans une atmosphère où la pression de ce même gaz est sensiblement nulle.

L'absorption ou le dégagement de l'azote ne paraissent pas éprouver de modifications sensibles, par la dissolution dans l'eau des sels de ces deux groupes.

Les phosphates et les carbonates alcalins paraissent donc avoir une même action sur l'absorption de l'acide carbonique : ils fixent l'un et l'autre, d'une manière au moins passagère, un certain volume de ce gaz à l'état de combinaison, en proportions définies. Ce ne sont pas des poids égaux de ces deux sels qui doivent produire un même effet; mais, d'après les résultats précédemment développés, un équivalent chimique de phosphate de soude ordinaire absorbe, à l'état de combinaison, la même quantité d'acide carbonique que deux équivalents de carbonate de soude.

Enfin, la similitude d'action des carbonates et des phosphates, et le sens même de cette action, s'accordent avec le petit nombre de résultats fournis déjà par les analyses faites dans différentes circonstances :

Ainsi la diminution des phosphates du sang, qui s'observe en passant des carnivores aux herbivores, est toujours accompagnée d'une augmentation correspondante dans la quantité des carbonates (1); le même résultat peut être obtenu en soumettant un même animal à l'un ou à l'autre régime (2). De là un équilibre constant dans l'élimination continuelle qui se fait par la combustion respiratoire (3), au moins en ce qui tient à l'un ou à l'autre de ces sels. Cette compensation entre les quantités relatives de phosphates et de carbonates a du reste encore pour résultat, comme l'a montré M. Liebig, d'apporter en définitive les mêmes éléments minéraux aux tissus, de sorte que les cendres fournies par la chair des herbivores ou des carnivores ne présentent pas de différences appréciables (4).

La proportion moyenne 0,0025 de carbonates donnée par les analyses du sang de l'homme à l'état normal s'abaisse dans la plupart des maladies, et l'alcalinité du sang diminue (5) : dans les phlegmasies, elle s'abaisse même jusqu'à 0,0020 (6). Au contraire, dans le scorbut, dans la fièvre typhoïde, la quantité de sels alcalins surpasse, d'après les analyses de plusieurs expérimentateurs (7), la proportion normale. Les phosphates alcalins et le phosphate de chaux augmentent, mais de quantités inférieures à la diminution des carbonates, dans la plupart des cas pathologiques où la combustion physiologique paraît entravée : dans les phlegmasies, dans l'anémie, dans la fièvre typhoïde, dans la

(1) Nasse, *Ueber das Blut des Hausth.* (*Journal für praktische Chem.*, 1843, Band XXVIII, Seite 147). — Poggiale, *Recherches chimiques sur le sang* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 1847, t. XXV, p. 112).

(2) Verdeil, *Untersuchung der Blutasche verschiedener Thiere* (*Annalen der Chem. und Pharm.*, 1849, Band LXIX, Seite 89, et *Annales de chimie et de physique*, 1850.)

(3) J. Liebig, *Nouvelles lettres sur la chimie*, trad. française de Gerhardt. Paris, 1852, XXXIVe lettre.

(4) *Ibid.*, p. 160 et suiv. de la traduction de Gerhardt. Paris, 1852.

(5) Cohen, *Gaz. médicale*, 1851, p. 365.

(6) Becquerel et Rodier, *Traité de chimie pathologique*, p. 67.

(7) Andral, *Essai d'hématologie*, p. 138. — Cohen, *Gazette médicale*, 1850, p. 514. — M. Fremy est arrivé au même résultat.

phthisie (1). Toutefois il faudrait évidemment que ces résultats fussent établis avec plus de précision dans les données numériques, et qu'on eût des données correspondantes sur les gaz absorbés et exhalés dans ces différents cas, pour arriver à des conclusions complétement satisfaisantes. On ne peut constater, dans l'état actuel de la science, que de simples coïncidences capables de donner une idée de la tendance de ces diverses causes.

### III. — Du rôle des chlorures dans l'action du sang sur les gaz.

En prenant la moyenne des analyses faites par les meilleures méthodes sur les éléments minéraux du sang, on trouve que le nombre 0,0035 exprime à peu près la quantité de chlorures alcalins contenus dans le sang de l'homme et des animaux voisins de lui, à l'état physiologique. J'indiquerai un peu plus loin quelles peuvent être les influences de certaines causes sur l'accroissement, et plus souvent encore sur la diminution de ces éléments ; ce nombre doit être considéré comme exprimant uniquement une moyenne des proportions de chlorures alcalins dissoutes dans le sang des mammifères.

Les expériences d'absorption ont montré que les solutions de chlorure de sodium exercent sur les trois gaz qui nous occupent une action complétement soumise aux lois de la dissolution proprement dite ; il ne me reste donc ici qu'à donner le résultat des expériences destinées à déterminer avec exactitude les coefficients de solubilité pour des solutions contenant des proportions de chlorures voisines de celles du sang.

Voici les résultats numériques obtenus par une méthode et un calcul semblables à ceux qui ont été développés précédemment :

*Solution de chlorure de sodium à* 0,0090.

| | | |
|---|---|---|
| Acide carbonique. | Coefficient de solubilité à 16°,6. . . . . . . | 0,9457 |
| Oxygène . . . | Coefficient de solubilité à 16°,5. . . . . . . | 0,0287 |
| Azote. . . . | Coefficient de solubilité à 15°,8. . . . . . . | 0,0141 |

(1) Becquerel et Rodier, *ibid.*, p. 68.

*Solution de chlorure de sodium à* 0,0035.

| | | |
|---|---|---|
| ACIDE CARBONIQUE. | Coefficient de solubilité à 16°,7. . . . . . . | 0,9452 |
| OXYGÈNE . . . | Coefficient de solubilité à 16°,4. . . . . . . | 0,0289 |
| AZOTE. . . . . | Coefficient de solubilité à 15°,6. . . . . . . | 0,0142 |

*Solution de chlorure de sodium à* 0,0020.

| | | |
|---|---|---|
| ACIDE CARBONIQUE. | Coefficient de solubilité à 16°,2. . . . . . . | 0,9441 |
| OXYGÈNE . . . | Coefficient de solubilité à 16°,2 . . . . . . . | 0,0292 |
| AZOTE . . . . | Coefficient de solubilité à 15°,5. . . . . . . | 0,0144 |

Il ressort immédiatement de ces résultats que la présence de semblables quantités de chlorures diminue très notablement le pouvoir dissolvant de l'eau pure pour l'acide carbonique, le phénomène suivant d'ailleurs les lois de la dissolution proprement dite, c'est-à-dire la loi de Dalton. En outre, une diminution dans la quantité de chlorures, semblable à celles qui peuvent se présenter dans l'économie, a pour résultat une augmentation sensible dans le pouvoir dissolvant de la solution saline pour l'acide carbonique, et le coefficient se rapproche de celui de l'eau pure. Au contraire, un accroissement dans la quantité de chlorures diminue d'une quantité notable le pouvoir dissolvant pour le même gaz.

L'action exercée par la présence du chlorure de sodium sur la solubilité de l'oxygène se rapproche beaucoup plus de l'action exercée par ce même sel sur la solubilité de l'acide carbonique, que cela n'arrivait pour les deux groupes de sels précédents. Ainsi la même proportion de chlorure exerce à peu près la même influence relative sur le coefficient de solubilité des deux gaz. De cette différence entre les deux groupes de sels, il résulte que, dans la fonction de respiration, les chlorures doivent surtout être considérés comme modifiant l'absorption de l'oxygène, à cause de leur influence sur sa solubilité propre; leur influence sur l'absorption de l'acide carbonique sera au contraire négligeable, par rapport à celle des phosphates et des carbonates, qui agissent en sens contraire par leur affinité chimique, avec une intensité beaucoup plus grande.

L'absorption de l'azote n'ayant pas été influencée sensiblement

par des proportions de chlorure de sodium beaucoup plus considérables, les valeurs numériques relatives à ce gaz offrent beaucoup moins d'intérêt que les précédentes.

L'influence du vide ou du passage des gaz était indiquée pour ainsi dire d'avance ; le résultat de quelques expériences faites à ce sujet a été pleinement d'accord avec l'idée que les recherches précédentes tendent à donner du phénomène.

Des solutions de chlorure de sodium, saturées d'acide carbonique, ont été introduites, comme il a été dit, dans l'appareil de M. Baumert : le dégagement des bulles gazeuses s'est manifesté dès que la communication a été établie entre le ballon et la partie vide de l'appareil : il s'est fait rapidement, et il y a toujours eu un assez long intervalle entre la fin du dégagement de ces petites bulles, et le commencement de la production des grosses bulles de vapeur. Le volume du gaz dégagé a d'ailleurs été sensiblement égal au volume calculé d'après la loi de la dissolution proprement dite.

Les mêmes observations sont applicables au dégagement de l'oxygène : même rapidité dans le dégagement de gaz, même égalité entre le volume dégagé et le volume dissous, calculé d'après la loi générale. L'un et l'autre ne sont donc retenus dans le liquide par aucune force particulière ; ils obéissent, soit pour l'absorption, soit pour le dégagement, aux lois ordinaires de la dissolution.

Les solutions de chlorure de sodium saturées de gaz ont enfin été traitées par un autre courant gazeux, et ont donné de même un dégagement rapide et complet du gaz dissous.

Ces expériences, relatives au chlorure de sodium seul, suffisent évidemment pour caractériser l'influence des chlorures du sérum en général, puisque les autres s'y trouvent en quantités excessivement faibles par rapport à celui-ci.

En rapprochant donc les résultats précédents, on est conduit aux conclusions suivantes :

L'influence de la présence des chlorures en dissolution consiste surtout à diminuer les pouvoirs dissolvants de l'eau pour tous les gaz de la respiration, de quantités d'autant plus grandes que le

pouvoir dissolvant est lui-même plus considérable. L'absorption suit la loi de la dissolution proprement dite, et ne paraît se compliquer d'aucune action chimique, en sorte que le volume de gaz absorbé est toujours moindre que pour l'eau pure.

Cette diminution est assez considérable pour que, dans les limites même des variations constatées par la pathologie ou la physiologie comparée, un accroissement dans la proportion de chlorures entraîne une diminution dans le pouvoir dissolvant proprement dit, pour tous les gaz de la respiration ; au contraire, les diminutions qui s'observent beaucoup plus fréquemment dans la quantité de chlorures doivent avoir pour conséquence un accroissement de solubilité pour les gaz. Or l'absorption de l'oxygène est surtout un phénomène de solubilité propre, et au contraire, pour l'acide carbonique, la quantité de gaz proprement dissoute par une solution saline complexe de la nature du sérum est bien inférieure à la quantité chimiquement combinée ; de là résulte que c'est surtout sur l'absorption de l'oxygène qu'influera la présence des chlorures, et que les variations dans les quantités relatives de ce genre de sels devront être considérées comme activant ou comme entravant principalement la pénétration de ce gaz dans le liquide où nagent les globules. L'absorption de l'acide carbonique dans la profondeur des tissus, bien que subissant aussi par là une certaine diminution, n'en éprouvera, toutes choses égales d'ailleurs, qu'un changement relatif bien moins considérable, et sera masquée par l'influence des sels qui ont pour ce gaz une affinité chimique. Enfin, dans tous les cas, la présence des chlorures n'entravera en rien le dégagement des gaz sous l'influence de la diminution de pression.

Ce mode d'action des chlorures me paraît s'accorder avec quelques résultats donnés par les analyses faites à différents points de vue : ainsi la proportion moyenne 0,0035 donnée par Becquerel et Rodier (1), et évaluée même à 0,00469 par Nasse (2), et à

(1) Becquerel et Rodier, *Traité de chimie pathologique*, p. 65.

(2) Nasse, *Ueber das Blut* (*Journ. für prakt. Chem.*, 1843, Band XXVIII, Seite 148).

0,0044 par Simon (1) d'après les analyses de Denis, ne paraît guère pouvoir s'accroître beaucoup. Cependant, sous l'influence d'une alimentation très riche en sel et soutenue pendant plusieurs mois, MM. Plouviez et Poggiale (2) ont vu la quantité de chlorures contenue dans le sang s'élever de 0,0044 à 0,0064, et l'analyse a montré que la proportion de globules s'élevait en même temps de 0,130 à 0,143. Peut-être cette accumulation des globules doit-elle être attribuée précisément à ce que la trop grande proportion de chlorure de sodium est un obstacle à l'absorption de l'oxygène par le sang, et à la destruction normale de ces corps. De même, dans quelques cas pathologiques exceptionnels, comme le scorbut ou le choléra, la proportion de chlorures augmente considérablement; elle peut aller dans le choléra, selon M. A. Becquerel (3), jusqu'à 0,00661. Or, la combustion physiologique paraît entravée dans ces maladies plus que dans toute autre : M. Rayer (4) et quelques autres médecins ont constaté une diminution considérable dans la quantité d'oxygène absorbée ; J. Davy évaluait à plus des deux tiers la réduction dans la proportion d'acide carbonique exhalé, et des expériences comparatives de M. Doyère (5), faites sur des cholériques à différentes périodes de la maladie, ont donné une diminution de 0,0440 à 0,0023 dans les quantités du même gaz contenues dans l'air expiré : cette diminution dans les quantités d'acide carbonique exhalées doit être certainement considérée ici comme dépendant, en grande partie, de la diminution constatée dans l'absorption de l'oxygène.

Au contraire, dans la plupart des maladies, la proportion de chlorure de sodium s'abaisse, et cette diminution paraît devoir

(1) Simon, *Animal Chemistry*, t. I, p. 232.

(2) Poggiale, *Recherches chimiques sur le sang* (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 1847, t. XXV, p. 112).

(3) A. Becquerel, *Note relative à quelques analyses du sang des cholériques* (*Archives générales de médecine*, 1849, 4e série, t. XXI, p. 192).

(4) Rayer, *Examen comparatif de l'air expiré par des hommes sains et des cholériques, sous le rapport de l'oxygène absorbé* (*Gazette médicale de Paris*, 1831, t. III, p. 277).

(5) Doyère, *Mémoire sur la respiration et la chaleur humaine dans le choléra* (*Moniteur des hôpitaux*), 1854, t. II, p. 97).

être ordinairement attribuée à l'abstinence, à laquelle on condamne le plus souvent les malades : elle peut descendre alors (1) jusqu'à 0,002 ou 0,003. Les variations dans les quantités de gaz absorbés ou dégagés sont alors très diverses ; il faudrait qu'elles fussent étudiées pour chaque maladie d'une manière spéciale, avant qu'on pùt en tirer des conclusions précises, en dégageant cette influence de toutes celles qui tiennent à des conditions pathologiques spéciales.

### IV. — Du rôle du sérum tout entier dans l'action du sang sur les gaz.

En étudiant d'une manière spéciale l'influence exercée sur la dissolution des gaz, par des solutions artificielles qui contenaient les mêmes éléments minéraux que le sérum et dans des proportions semblables, je viens d'indiquer le rôle qu'on pouvait attribuer à chacun de ces éléments. D'autre part, j'ai donné, dans le second chapitre, le détail de six séries d'expériences (M, N, O, et M', N', O'), faites avec le sérum pur ou étendu d'eau, et mis en présence de l'acide carbonique et de l'oxygène. En comparant ces résultats, on peut arriver à quelques notions sur l'influence des éléments organiques de ce même liquide.

Relativement à l'absorption de l'acide carbonique, les valeurs des coefficients de *solubilité propre* sont intermédiaires entre les valeurs trouvées pour les solutions artificielles, à des températures voisines : ils sont, par conséquent, inférieurs à celui de l'eau pure. La présence des éléments organiques, et de l'albumine en particulier, ne modifie donc pas sensiblement la partie de l'absorption qui consiste en une dissolution simple, et le sérum se comporte, à cet égard, comme les solutions salines dont l'action a été étudiée.

Les volumes d'acide carbonique absorbés indépendamment de la pression, savoir 0,4709 pour l'unité de volume du sérum pur, 0,2349 pour l'unité de volume du sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien, et 0,1566 pour l'unité de volume du sérum étendu d'un volume d'eau deux fois égal au sien, doivent être rapprochés

(1) Becquerel et Rodier, *Recherches sur la composition du sang*. Paris, 1844.

des volumes du même gaz absorbés, indépendamment de la pression, par les solutions salines que j'ai employées en dernier lieu. Ces rapprochements conduisent à un résultat complétement satisfaisant, car une solution de carbonate de soude à 0,0025 a absorbé, indépendamment de la pression, 0,4190 d'acide carbonique, et une solution de phosphate de soude à 0,00033 a absorbé, indépendamment de la pression, 0,0528 du même gaz : la somme de ces deux quantités donne 0,4718, nombre aussi peu différent de 0,4709 qu'on peut l'exiger dans ce genre d'expériences. D'autre part, les nombres 0,2349 et 0,1566, relatifs au sérum étendu d'un volume d'eau égal au sien, ou double du sien, sont très sensiblement égaux à la moitié et au tiers de 0,4709. Donc les carbonates et les phosphates paraissent se conduire dans le sérum comme dans une solution aqueuse, quant au volume de gaz qu'ils absorbent indépendamment de la pression. Les éléments organiques ne paraissent pas s'opposer à ces sortes de combinaisons, et n'augmentent pas non plus le volume d'acide carbonique fixé indépendamment de la pression : à cet égard encore, le sérum agit comme un mélange de solutions artificielles semblables à celles qui ont servi aux recherches précédentes.

Donc, en définitive, au point de vue de la respiration, l'affinité chimique exerce sur le phénomène une influence remarquable, et fixe un volume d'acide carbonique à peu près égal à la moitié du volume proprement dissous : le sérum n'est pas un simple dissolvant de l'acide carbonique, mais ses éléments minéraux augmentent de moitié son pouvoir absorbant, en exerçant sur ce gaz une véritable action chimique.

En est-il de même pour l'absorption de l'oxygène ? La comparaison des coefficients de solubilité propre conduit aux mêmes conclusions que pour l'acide carbonique, et la présence des éléments organiques apporte seulement ici aux valeurs des coefficients une diminution relativement un peu plus grande.

Enfin, les volumes d'oxygène absorbés, dans les séries d'expériences M′, N′, O′, indépendamment de la pression, ont été 0,00117 pour le sérum pur, 0,00061 pour le sérum étendu d'un

volume d'eau égal au sien, et 0,00037 pour le sérum étendu d'un volume d'eau double du sien. Au contraire, les solutions salines absorbaient au même état une quantité d'oxygène beaucoup moindre, et dont l'appréciation devenait même très difficile quand on opérait sur des solutions comparables au sérum par leur concentration, ainsi que je l'ai fait dans ce chapitre. D'autre part, les nombres 0,00061 et 0,00037 relatifs au sérum étendu d'un égal volume d'eau ou d'un volume d'eau double du sien, sont respectivement à très peu près égaux à la moitié et au tiers du nombre 0,00117 relatif au sérum pur; ces résultats présentent donc bien le caractère d'une combinaison suivant la loi des proportions définies.

Comment interpréter ces faits, si ce n'est en admettant que les éléments organiques du sérum, et particulièrement l'albumine, fixent un certain volume d'oxygène indépendant de la pression, proportionnel à la concentration du liquide, et supérieur à celui que peuvent fixer les éléments minéraux? Il est important toutefois de remarquer que ce volume n'a pas encore une très grande valeur par rapport au volume proprement dissous, de sorte que c'est, en définitive, la loi de la dissolution simple qui domine principalement la marche du phénomène. Au point de vue physiologique, l'affinité intervient surtout pour rendre le volume d'oxygène absorbé notablement plus grand, mais les quantités de gaz absorbé, sans obéir à la loi de Dalton, s'en écartent cependant beaucoup moins que cela n'avait lieu pour l'acide carbonique. Le sérum doit être considéré, au point de vue de la théorie de la respiration, comme un dissolvant de l'oxygène, auquel la présence de ses éléments organiques donne une propriété absorbante notablement supérieure à celle de l'eau pure.

Quant à l'action du sérum sur l'azote, je n'ajouterai rien ici aux conclusions que j'ai données à la fin du chapitre précédent.

Le sérum saturé de ces différents gaz a encore été traité par un courant d'hydrogène pur, ou soumis à la méthode de dégagement de Baumert. La rapidité du dégagement des gaz dissous, la concordance des résultats avec ceux qu'a fournis l'absorption, m'a

prouvé que la présence des matières organiques ne modifie en rien le mode d'action que j'ai montré appartenir aux solutions salines. Dans l'un et l'autre cas, les gaz absorbés se dégagent dès que la pression exercée à la surface du liquide par le gaz de même nature devient nulle.

En résumé, l'action du sérum sur l'acide carbonique est une action dissolvante, en même temps qu'une action chimique qu'il doit surtout à la présence des phosphates et des carbonates. Cette action chimique fixe une quantité de gaz égale à la moitié de celle qui entre en dissolution proprement dite en présence d'une atmosphère pure de ce gaz et sous la pression normale, et les variations dans les proportions de ces deux genres de sels ont une importance capitale sur l'absorption ou le dégagement de l'acide carbonique par le sérum. Cette action n'est pas sensiblement modifiée par la présence des matières organiques. Au contraire, l'action du sérum sur l'oxygène est surtout une action dissolvante : il faut y ajouter une action chimique faible de la part de quelques-unes des substances dissoutes, et principalement de la part des matières organiques, mais la marche du phénomène est surtout régie par la loi de la dissolution simple. La somme de toutes ces actions donne au sérum tout entier un pouvoir absorbant pour l'oxygène plus grand que celui de l'eau pure, mais ce pouvoir peut être diminué par l'accroissement de certaines matières salines, et du chlorure de sodium en particulier.

Le sérum n'est donc pas seulement un liquide contenant les éléments de la nutrition, et d'une densité telle que les globules puissent s'y conserver. C'est encore un liquide dont la constitution chimique est appropriée au maintien d'un équilibre particulier pour les gaz auxquels il doit servir de véhicule, de façon que si la constitution chimique du sérum venait à être modifiée, les globules conservant cependant leur intégrité, il n'en résulterait nullement que la respiration dût pour cela s'effectuer comme par le passé. Tout porte à croire, au contraire, que les perturbations apportées dans la respiration, par les changements dans les proportions des matières dissoutes, sont dues beaucoup plutôt à un

changement dans l'action du liquide sur les gaz qu'à un changement de densité altérant la constitution des globules. Toutefois le sérum n'est qu'un intermédiaire qui dégage, sous de simples actions physiques, les gaz qu'il a absorbés; il me reste à étudier, dans le paragraphe suivant, le rôle des corpuscules qu'il tient en suspension.

### V. — De l'influence des globules du sang sur l'absorption ou le dégagement des gaz.

Comme complément de ces recherches, destinées surtout à éclaircir le rôle des matières dissoutes dans le sang, j'ai fait un certain nombre d'expériences, par les mêmes méthodes, sur le sang lui-même avec ses globules aussi intacts que possible. La comparaison des résultats obtenus avec les précédents me paraît propre à donner une idée de l'influence relative de ces deux éléments, sur les diverses phases de la respiration proprement dite.

Un assez grand nombre de recherches semblables ont déjà été entreprises pour déterminer, soit la nature et les proportions relatives des gaz que le sang peut dégager au sortir des vaisseaux, soit les quantités qu'il peut absorber quand on l'agite avec l'un d'eux, après l'avoir préalablement privé de ses autres éléments gazeux. J'ai rendu compte des méthodes les plus précises, dans l'exposé général des méthodes de dégagement des gaz, et d'ailleurs les résultats généraux de quelques-uns de ces travaux sont maintenant devenus classiques.

J'ajouterai seulement ici que les expériences de M. Magnus, parfaitement propres, ainsi qu'il l'observe lui-même, à donner une idée des proportions relatives de gaz dissous dans les deux espèces de sang, n'indiquent pas les quantités absolues, et ne peuvent guère, par conséquent, fournir de notions complétement satisfaisantes sur l'état auquel ils y sont contenus : il fait remarquer cependant que la quantité d'acide carbonique dégagée par un courant d'air longtemps prolongé, surpasse celle qui pourrait être produite par la décomposition de la totalité du bicarbonate de soude. Cette remarque s'accorde avec le rôle que je viens de mon-

trer appartenir aux phosphates. Enfin, l'observation de M. Magnus sur la nécessité de pousser le vide jusqu'à un pouce pour obtenir un dégagement notable de gaz, et même le résultat négatif des expériences de Mitscherlich, Gmelin et Tiedemann (1), s'accordent encore avec les conclusions qui précèdent, relativement à l'état probable de l'acide carbonique dans le sérum.

Les expériences de M. L. Meyer (2) ont eu, au contraire, pour but spécial de déterminer les quantités absolues de gaz qui peuvent être dégagées du sang artériel, ou absorbées directement au contact d'atmosphères de diverses natures par du sang préalablement privé de gaz. J'ai dit, au commencement de ce travail, comment il opérait le dégagement des gaz du sang au moyen de l'appareil de Baumert légèrement modifié, et comment il avait étudié l'absorption par le sang défibriné, au moyen d'un appareil semblable à celui que j'avais employé moi-même, et décrit dans une note (3) qui se trouve citée à diverses reprises dans son travail (4). Je ne reviens pas sur les détails de ces diverses méthodes que j'ai exposées précédemment.

Pour opérer, dans les expériences d'absorption, sur du sang dans un état de conservation aussi parfaite que possible, j'ai pris sur des chiens du sang de l'artère fémorale, de l'artère humérale ou de l'artère carotide, et après l'avoir rapidement défibriné au sortir des vaisseaux, je l'ai fait traverser par un courant d'hydrogène ; le vase qui contenait le sang était placé dans un bain d'eau à 45 degrés environ, et le courant de gaz était maintenu jusqu'au moment où il ne troublait plus l'eau de chaux : le liquide était ensuite soumis au vide, et introduit dans l'appareil à absorption par la méthode ordinaire.

Voici les résultats de quelques expériences faites avec l'acide

(1) *Versuche über das Blut, angestellt, in Verbindung mit E. Mitscherlich*, von L. Gmelin und F. Tiedmann (*Zeitschrift fur Physiologie*, 1833, Band V, Seite 1), reproduit dans *Pogg. Ann.*, 1834, Band XXXI, Seite 289.

(2) L. Meyer, *Die Gase des Blutes*. Göttingen, 1857; et *Zeitschrift für rationelle Medicin*, 1857, Neue Folge, Band VIII, Seite 256.

(3) *Comptes rendus*, 1855, et *Ann. de chim. et de phys.*, 1856, t. XLVII, p. 360.

(4) Page 2 et page 49 du Mém. ; pages 257 et 304 dans *Zeitschr.*

carbonique et l'oxygène : les gaz ont été préparés par les mêmes méthodes que précédemment.

Acide carbonique. — *Série* R.

Sang de l'artère fémorale :
Quantité introduite. . . . . . . . $40^{cc},5$
Température. . . . . . . . . . . $16^{o},1$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 392,786 | 331,775 | 61,011 | 717,2 |
| » | 332,577 | 60,209 | 701,6 |
| » | 336,230 | 56,556 | 632,4 |
| » | 334,622 | 58,164 | 661,8 |
| » | 337,939 | 54,847 | 597,2 |

Acide carbonique. — *Série* S.

Sang de l'artère fémorale :
Quantité introduite. . . . . . . . $41^{cc},3$
Température. . . . . . . . . . . $16^{o},2$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 395,548 | 334,293 | 61.255 | 713,4 |
| » | 334,939 | 60,609 | 700,8 |
| » | 339,890 | 55,658 | 604,3 |
| » | 341,133 | 54,415 | 580,1 |
| » | 337,917 | 57,631 | 642,8 |

Oxygène. — *Série* T.

Sang de l'artère carotide :
Quantité introduite. . . . . . . . $35^{cc},2$
Température. . . . . . . . . . . $16^{o},2$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 288,637 | 284,280 | 4,357 | 741,6 |
| » | 284,331 | 4,306 | 703,2 |
| » | 284,401 | 4,238 | 652,8 |
| » | 284,346 | 4,291 | 692,2 |
| » | 284,404 | 4,233 | 649,1 |

Oxygène. — *Série* U.

Sang de l'artère humérale :
Quantité introduite . . . . . . . $36^{cc},1$
Température. . . . . . . . . . . $16^{o},0$

| Volume initial du gaz, ramené à 0° et 760 mm. | Volume final, ramené à 0° et 760 mm. | Volume absorbé, ramené à 0° et 760 mm. | Pression finale en millimètres. |
|---|---|---|---|
| 287,554 | 283,091 | 4,462 | 732,4 |
| » | 283,134 | 4,420 | 701,9 |
| » | 283,192 | 4,363 | 658,3 |
| » | 283,160 | 4,394 | 681,5 |
| » | 283,208 | 4,346 | 647,2 |

En soumettant ces divers résultats au mode de calcul déjà plusieurs fois développé, on arrive aux conséquences suivantes :

Pour l'acide carbonique, les *accroissements des volumes* de gaz absorbés par le sang sont très sensiblement proportionnels aux *accroissements des pressions ;* de là résulte, ainsi que je l'ai montré pour les solutions salines, que le volume de gaz absorbé doit être considéré comme formé d'une partie fixée par une affinité chimique et d'une partie proprement dissoute. Le *coefficient de solubilité propre*, calculé comme plus haut, est :

0,965 pour la série R, à 16°,1
0,967 pour la série S, à 16°,2

En moyenne, 0,964 à la température de 16°,0.

Le volume de gaz indépendant de la pression, et *chimiquement absorbé* par l'unité de volume du liquide, est :

0,595 pour la série R.
0,599 pour la série S.

En moyenne, 0,597

Je ferai remarquer ici encore que le coefficient de solubilité propre, un peu inférieur à celui de l'eau pure pour la même température, n'en est cependant pas très différent, puisque la valeur donnée par M. Bunsen pour l'eau pure est 0,9753 à la température de 16°,0.

Quant à la partie indépendante de la pression et chimiquement absorbée, 0,597, elle est un peu supérieure à la quantité que devrait absorber une simple solution des éléments minéraux du sang : elle est même encore un peu supérieure à la quantité chimiquement absorbée par le sérum : mais la différence n'est pas relativement très considérable.

De là je conclus : 1° que, relativement à l'acide carbonique proprement dissous, le sang se comporte comme une solution des sels minéraux qu'il contient; 2° que, dans l'action chimique du sang sur l'acide carbonique, le principal rôle appartient aux éléments minéraux, une faible part aux éléments organiques dissous, et qu'enfin les globules eux-mêmes n'exercent pas sur l'acide

carbonique d'action chimique capable de modifier beaucoup les quantités de gaz absorbées.

Les séries T et U, relatives à l'absorption de l'oxygène, donnent les valeurs suivantes du *coefficient de solubilité propre :*

0,0287 pour la série T, à 16°,2
0,0289 pour la série U, à 16°,0

En moyenne, 0,0288 à la température de 16°,0.

Les volumes de gaz indépendants de la pression, et *chimiquement absorbés* par l'unité de volume du liquide, sont :

0,0954 pour la série T.
0,0961 pour la série U.

En moyenne, 0,0958

Le coefficient de solubilité propre, encore un peu inférieur à celui de l'eau pure, n'en diffère pas cependant beaucoup, car la formule de M. Bunsen donne 0,0295, à la température de 16 degrés : il est, en cela, comparable au coefficient de solubilité des solutions salines, et presque identique avec celui du sérum.

Au contraire, les volumes d'oxygène chimiquement absorbés et indépendants de la pression ont une valeur relative si considérable, que ces expériences se distinguent par là immédiatement de celles qui sont relatives aux solutions salines et même au sérum. Non-seulement la marche du phénomène n'est plus assujettie à la loi de la dissolution simple d'une manière presque complète, mais les volumes absorbés semblent au premier abord indépendants de la pression, le volume chimiquement combiné étant presque cinq fois égal au volume proprement dissous, sous la pression atmosphérique. C'est donc aux globules du sang qu'appartient le rôle principal dans l'absorption de l'oxygène. Tandis que les solutions de sels minéraux voisines du sérum par la concentration, et le sérum lui-même avec ses éléments organiques, n'absorbent pas l'oxygène beaucoup plus énergiquement que l'eau pure, la présence des globules fait intervenir dans le phénomène une combinaison chimique, qui fixe un volume d'oxygène cinq fois plus grand que le

volume dissous par le sérum sous la pression atmosphérique : *à fortiori*, cette influence paraîtra-t-elle considérable dans la respiration, si l'on songe que l'oxygène de l'air exerce une pression qui n'entre que pour un cinquième dans la pression de l'atmosphère, et que le volume proprement dissous dans le sang de l'appareil respiratoire doit être réduit dans la même proportion. Le volume d'oxygène absorbé à l'état de combinaison par les globules deviendra alors environ vingt-cinq fois égal au volume qui entre effectivement dans le sérum à l'état de dissolution proprement dite.

En admettant donc que la fibrine, telle qu'elle existe dans le plasma, ne modifie pas notablement l'action que le sang défibriné exerce sur l'oxygène (1), c'est dans les globules qu'on devra voir le véritable régulateur de l'absorption de ce gaz : ce sont eux qui rendent le phénomène à peu près indépendant de la pression.

On s'explique ainsi ce résultat déjà constaté par un grand nombre d'observations, que l'absorption de l'oxygène est à très peu près la même, quelle que soit la pression atmosphérique, sur le sommet des montagnes et dans les plaines; cependant l'observation, d'accord ici avec la théorie, a constaté déjà de petites différences correspondantes aux différences de pression, mais elles ne sont accessibles qu'aux méthodes de mesure susceptibles d'une grande exactitude.

Pour achever de préciser cette influence des globules, il restait à étudier le dégagement des gaz absorbés par le sang. J'ai traité par la méthode de Baumert, modifiée comme je l'ai dit (2), du sang

(1) On ne peut, dans l'état actuel de la science, faire que des conjectures sur l'action de la fibrine, telle qu'elle existe à l'état de dissolution dans le plasma ; car la rapidité de la coagulation au sortir des vaisseaux empêche d'opérer sur du sang non défibriné pur, et d'un autre côté je ne crois pas qu'il soit permis de rien conclure des faits qu'on pourrait observer en maintenant la fibrine en dissolution par l'addition de bases ou de sels. — On peut cependant remarquer que cet élément entre seulement pour 0,0022 dans la constitution du sang de l'homme, et que d'ailleurs la fibrine coagulée n'éprouve pas de la part de l'oxygène d'action chimique sensible. (Voir R.-F. Marchand, *Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf das Blut, und seine Bestandtheile*, *Journ. für prakt. Chem.*, 1845, Band XXXV, Seite 392.)

(2) Voir page 131 et figure 5, pl. 4.

artériel à sa sortie des vaisseaux : les expériences ont été faites sur des chiens dont on isolait l'artère fémorale ou l'artère carotide, afin d'y pouvoir facilement introduire une canule fixée à un tube de caoutchouc qui conduisait le sang, à l'abri du contact de l'air, dans le ballon, au milieu de l'eau distillée et bouillie. J'ai opéré, en un mot, pour recueillir le sang, comme l'a fait M. Meyer dans les recherches que j'ai déjà plusieurs fois citées (1).

J'ai cherché à analyser les gaz dégagés, surtout au point de vue de la quantité d'oxygène, puisque c'est là, d'après ce qui précède, la partie de la question qui pouvait offrir le plus d'intérêt. J'ai rencontré, dans la pratique de cette méthode appliquée au sang, des difficultés matérielles qui ne me permettent pas d'attribuer aux valeurs absolues des résultats la même certitude que dans les expériences relatives aux solutions salines. Malgré toutes les précautions que j'ai pu prendre pour opérer le dégagement à une température très basse, et quoique le vide ait toujours été assez parfait pour qu'on vît les bulles gazeuses se produire en abondance dès que le ballon était mis en communication avec le récipient, j'ai toujours vu apparaître au milieu du liquide un réseau demi-transparent de matières organiques. Le mélange d'une quantité d'eau dix ou douze fois égale au volume du sang lui-même n'a jamais pu le faire disparaître entièrement, et les bulles gazeuses, retenues mécaniquement ainsi dans le ballon, n'ont jamais pu en être chassées assez intégralement pour qu'il fût permis de regarder le dégagement comme complet. La formation même de ce réseau rendait d'ailleurs l'ébullition vive assez difficile, et exigeait de très grandes précautions dans la conduite de l'expérience. Enfin, c'est pour empêcher les caillots de venir boucher le tube *l*, comme cela arrivait parfois avec la disposition employée par Baumert et L. Meyer, que j'ai préféré souder ce tube à la partie supérieure de la boule *c* (2).

Toutefois les quantités d'oxygène dégagées par cette méthode

(1) Lothar Meyer, *Die Gase des Blutes*, Göttingen, 1857, Seite 5, et *Zeitschrift fur rationelle Medizin*, Heidelberg und Leipzig, 1857, neue Folge, Band VIII, Seite 240.

(2) Voir figure 5, pl. 1.

fournissent encore une confirmation des idées précédentes sur le rôle des globules. Ainsi, cinq expériences, dans lesquelles les gaz ont été expulsés aussi complétement que possible, ont fourni pour un volume de sang, des volumes d'oxygène compris entre 0,157 et 0,202 (1). Ces nombres surpassent de beaucoup les volumes absorbés par les solutions salines ou le sérum, quoique la température du sang chez les mammifères soit supérieure à celles des expériences précédentes sur l'absorption, et que la pression de l'oxygène dans l'air ne soit guère que d'un cinquième d'atmosphère. Ils sont, au contraire, inférieurs aux quantités d'oxygène qu'absorbe le sang, quand on l'agite jusqu'à saturation en présence d'une atmosphère d'oxygène pur. Ce dernier résultat était évidemment facile à prévoir à cause de la différence de pression ; en outre, le sang ne fait que traverser les capillaires du poumon, et il est séparé du fluide respirable par une membrane vivante dont il est impossible, dans l'état actuel de la science, de préciser l'influence.

Ce qu'il est donc permis de conclure de ces résultats, c'est que le sang artériel dégage, dans le vide et à une température voisine de celle des mammifères, une quantité d'oxygène supérieure à celle que le sérum peut absorber. Ce gaz avait donc été fixé par les globules, et de plus, l'affinité qui les unit est assez faible pour être vaincue par l'action du vide. De là résulte, ce me semble, qu'il ne se fait entre ces deux corps qu'une combinaison très lâche, au moins dans la première phase du phénomène. Quant aux actions chimiques qui peuvent donner naissance ultérieurement à de nouveaux produits (2), c'est là une question toute différente, et que ne comporte pas la nature de ce travail.

Les résultats obtenus par M. Meyer (3) s'accordent avec ces conclusions : selon lui, en effet, l'absorption de l'oxygène par le

(1) M. L. Meyer donne le détail de trois expériences qui lui ont fourni, pour 100 vol. de sang : 12,4 ; 14,3 et 18,4 d'oxygène (*loc. cit.*).

(2) Les expériences de Marchand prouvent que, en dehors de l'économie, l'action de l'oxygène sur le sang ou sur ses parties constituantes n'a jamais pour résultat une formation immédiate d'acide carbonique (Marchand, *Ueber die Einwirkung*, etc.).

(3) Lothar Meyer, *loc. cit.*

sang dépend pour la plus faible partie seulement de la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide : en outre, à mesure que le sang s'enrichit en eau, et perd par conséquent des quantités relatives du principe qui fixe l'oxygène, les quantités absorbées indépendantes de la pression décroissent, celles qui entrent en dissolution proprement dite augmentent. Il explique ainsi l'affaiblissement graduel de la respiration après des saignées fréquemment répétées, l'expérience ayant démontré que le sang contient alors des proportions d'eau de plus en plus considérables. Enfin la comparaison des résultats obtenus, en cherchant à dégager les gaz du sang après une addition d'acide tartrique, ou sans cette addition préalable, le porte à conclure que la combinaison instable formée par l'oxygène et l'un des éléments du sang, peut acquérir de la stabilité sous l'influence d'un acide, au point de ne pouvoir plus être détruite par l'ébullition. Il ne se prononce pas sur la nature de cette combinaison, que les connaissances actuelles ne permettent pas de définir ; selon lui cependant, c'est peut-être à une cause de ce genre qu'il faut attribuer la grande consommation d'oxygène que font les muscles dans les contractions énergiques.

Quoi qu'il en soit de cette assertion sur l'influence des acides, que je n'ai pas eu l'occasion de vérifier, l'élément du sang qui fixe l'oxygène est, pour la plus grande part au moins, la masse des globules qu'il tient en suspension. De là l'influence, connue de tous les physiologistes, de la quantité ou des dimensions relatives des globules sur la consommation d'oxygène dans l'acte de la respiration : de là aussi les coïncidences, observées dans un grand nombre de recherches sur la pathologie ou l'anatomie comparée, entre la diminution des globules et le ralentissement dans la fonction de respiration, ou réciproquement. Les résultats obtenus à cet égard sont devenus classiques, et je ne crois pas nécessaire d'y insister.

L'action intime de l'oxygène sur les globules du sang est accusée par un changement de couleur. L'observation de ce fait est déjà fort ancienne, et l'on en a rapproché un changement semblable

produit par l'addition de certains sels dans le sang (1). Est-ce là un seul et même phénomène, ou le résultat est-il dû, dans les deux cas, à deux causes différentes ? L'une et l'autre opinion ont été successivement soutenues et combattues : les expériences précédentes me semblent propres à jeter quelque jour sur cette question.

Avant de formuler les idées qui me paraissent devoir être admises à cet égard, j'indiquerai les résultats des principales expériences sur lesquelles elles peuvent être fondées. La plupart de ces expériences sont déjà connues ; j'ai seulement varié les conditions de quelques-unes d'entre elles, afin de les rendre plus concluantes, et j'ai eu soin d'opérer toujours avec du sang dans un état de conservation aussi parfaite que possible, et de l'employer immédiatement après sa sortie des vaisseaux.

Et d'abord, le sang artériel ou veineux, défibriné et soumis immédiatement à un rapide courant d'oxygène ou d'air atmosphérique, prend une couleur vermeille bien connue, et, si le passage du gaz a maintenu le liquide dans un état d'agitation suffisante (2), les globules apparaissent au microscope parfaitement conservés. J'ai vérifié, après M. Marchand (3), qu'il ne se produit pas de traces appréciables d'acide carbonique, quand on a préalablement chassé ce gaz par un courant d'hydrogène bien pur.

La même expérience faite avec de l'hydrogène donne au sang une couleur rouge sombre; mais, si le passage du gaz s'est fait très vivement, les globules apparaissent encore très bien conservés au microscope; ils possèdent encore la propriété de rougir lentement à l'air libre, ou rapidement par l'agitation avec l'oxygène.

Enfin, l'acide carbonique donne naissance, dans les mêmes circonstances, à une couleur beaucoup plus noirâtre : les globules, assez bien conservés au commencement de l'expérience, se détruisent

(1) Voir l'ouvrage cité : Milne Edwards, *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, t. I, p. 473, et p. 476, note 2.

(2) On doit à M. Dumas d'avoir montré qu'une vive agitation du liquide est nécessaire dans cette expérience, pour conserver aux globules leur intégrité, et rendre l'artérialisation possible. (Dumas, *Recherches sur le sang*, *Ann. de chim. et de phys.*, 1846, 3e série, t. XVII.)

(3) R. F. Marchand, *loc. cit.*, p. 458.

bientôt malgré l'agitation du liquide. Le passage de l'oxygène reproduit rapidement une couleur d'un rouge vermeil si l'action de l'acide carbonique n'a pas été trop prolongée; il n'agit plus que très lentement si les globules sont déjà en partie détruits, et la teinte n'acquiert jamais la même vivacité.

D'un autre côté, l'addition des sels au sang défibriné donne en général naissance à un changement de couleur analogue à celui que produit l'oxygène, pourvu qu'on opère sur du sang artériel ou veineux bien conservé, et immédiatement à sa sortie des vaisseaux. Quand on vient à comparer l'action des différents sels, on trouve qu'ils produisent tous un effet semblable; il n'existe entre eux que des différences de plus ou de moins. Le chlorure de sodium est cependant un de ceux qui, sous un même poids, produisent l'effet le plus rapide et le plus marqué.

Si maintenant on fait arriver le sang, au sortir des vaisseaux, sous une couche d'huile, et qu'on ajoute ensuite la solution saline, on observe le même changement de teinte que précédemment. Si au contraire le sang a été préalablement traversé par un courant rapide d'hydrogène, puis couvert d'une couche d'huile avant l'addition de la solution saline, le changement de couleur est insensible (1). Ce qui produisait donc le changement de teinte dans le premier cas, au moment de l'addition du sel, c'étaient les gaz dissous dans le sang des vaisseaux; il a suffi que ces gaz fussent remplacés par de l'hydrogène, dans la seconde expérience, pour que les phénomènes fussent entièrement changés. Cependant les globules observés au microscope se montrent parfaitement conservés, et le même sang peut reprendre la teinte vermeille, quand on l'agite avec de l'air ou de l'oxygène.

Enfin si le sang a été traité par un courant d'acide carbonique, puis couvert d'une couche d'huile, et mélangé ensuite avec la solution saline, on observe un léger éclaircissement de teinte, si le sel employé est du phosphate ou du carbonate de soude; on n'obtient aucun changement si c'est du chlorure de sodium ou du sulfate de soude.

(1) Cette observation a été faite par MM. Roucher et Coulier : *Recherches sur le sang* (*Ann. de chim. et de phys.*, 1848), t. XXIII, p. 377).

Rapprochons entre elles ces diverses expériences, et les résultats déjà obtenus dans ce travail nous permettront de les rapporter à des causes tout à fait semblables. Les premières, relatives à l'influence du passage de différents gaz à travers le sang, montrent que le contact de l'oxygène avec les globules donne à ces corps une teinte vermeille, que cette teinte disparaît sous l'action d'un courant d'hydrogène, et qu'au contraire la présence de l'acide carbonique à l'état de liberté dans le liquide qui tient les globules en suspension leur communique une couleur beaucoup plus foncée. Or il est évident que, au moment où le sang est recueilli, il existe, pour les gaz qu'il contient, un équilibre entre les forces qui les sollicitent, c'est-à-dire entre les attractions moléculaires du liquide, la force élastique du gaz et l'attraction des globules; l'intervention d'un sel capable de modifier l'attraction du liquide *détruira donc cet équilibre*, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et de là toutes les différences que j'ai signalées. Ainsi, certains sels, comme le chlorure de sodium ou le sulfate de soude, en diminuant la solubilité de l'oxygène dans le sérum, dégagent une partie de ce gaz préalablement maintenue en dissolution, et lui permettent de se porter sur les globules dont l'affinité le sollicite; de là le vif changement de teinte produit par ces substances. C'est un phénomène entièrement comparable à la précipitation des substances insolubles dans l'alcool, quand on ajoute quelques gouttes de ce liquide dans leurs solutions aqueuses. D'autres sels, comme le phosphate de soude ou le carbonate de soude, agissent surtout par leur affinité pour l'acide carbonique libre, qu'ils font entrer dans une combinaison chimique, et dont ils font ainsi disparaître l'influence sur la coloration des globules; de là encore un changement de teinte, qui peut être augmenté par le dégagement d'une petite quantité d'oxygène; toutefois cette modification est toujours beaucoup moins prononcée. Enfin, il va de soi que l'action des solutions salines doit être la même à l'abri de l'air, sous une couche d'huile, si le sang a été pris au sortir des vaisseaux; qu'il ne peut au contraire se produire rien de semblable, si les gaz ont été chassés par l'hydrogène; et qu'enfin, le phosphate ou le carbonate de soude peuvent seuls donner naissance à un léger chan-

gement de teinte, si les gaz ont été remplacés par l'acide carbonique.

En résumé donc, tous les faits que je viens d'exposer en dernier lieu, bien qu'ils semblent différents au premier abord, peuvent être réunis dans une interprétation générale. Toutes les causes qui, en conservant aux globules leur intégrité et les empêchant de s'agglomérer, leur fournissent une nouvelle quantité d'oxygène ou leur enlèvent de l'acide carbonique, produisent une modification plus ou moins prononcée dans la couleur de ces corps.

Je ferai remarquer, en terminant, que ces expériences sur l'addition des solutions salines au sang défibriné, prises en elles-mêmes et indépendamment de toute idée théorique, peuvent être considérées comme rendant manifeste l'une des principales conséquences qui résultent des données numériques de ce travail : les variations apportées dans les proportions relatives des sels du sang ont pour résultat immédiat d'accélérer ou de ralentir le passage des gaz extérieurs sur les globules, ou réciproquement.

J'aurais voulu pouvoir comparer, au moyen des méthodes et des appareils que j'ai décrits, et dont on a pu juger la précision par les nombreux exemples d'expériences que j'ai cités, le sang de divers points de l'économie animale sous le rapport du pouvoir absorbant pour les gaz ; le temps et surtout les ressources matérielles nécessaires pour ce genre d'expériences m'ont manqué. M. Cl. Bernard a déjà donné (1) les résultats de quelques recherches sur ce sujet ; il a opéré aussi par comparaison sur le sang des animaux à jeun ou en digestion ; il ajoute cependant lui-même (2) que ces expériences demanderaient à être répétées avec toute la précision possible, afin d'arriver à des conclusions positives. Les conclusions relatives à ces questions en particulier ne pourront d'ailleurs être complétement formulées et coordonnées que quand les analyses chimiques auront fourni des données précises sur la composition du sang dans ces diverses circonstances.

(1) Cl. Bernard, *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses*. Paris, 1857, VI[e] et VII[e] leçons.

(2) *Ibid.*, VII[e] leçon.

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE 4.

Fig. 1. — Appareil pour l'absorption des gaz. On a supposé, dans le dessin, le gaz et le liquide déjà introduits dans le cylindre à absorption : la partie étirée *m* n'est pas encore fermée à la lampe.

*c*. Tube par lequel le gaz et le liquide arrivent dans le cylindre à absorption.

*m*. Tube de verre effilé, qu'on fond à la lampe après l'introduction du liquide, afin d'obtenir une fermeture plus hermétique, et de pouvoir enlever le cylindre pour agiter le liquide au contact du gaz.

*g*, *h*. Robinets par lesquels l'appareil est mis alternativement en communication avec le gaz et avec la machine pneumatique, au commencement de l'expérience. On peut ainsi *laver* le cylindre avec le gaz lui-même, et le remplir de gaz bien pur.

*e*. Tube de verre par lequel le liquide est introduit dans l'appareil. (Voir fig. 2.)

*d*. Tube latéral capillaire, par lequel le cylindre à absorption est mis en communication avec le manomètre.

*r*, *r*. Robinets d'acier, semblables à ceux des appareils de M. Regnault, et munis de pièces coniques qui permettent de séparer ou de réunir à volonté le cylindre à absorption et le manomètre. — Les pièces coniques et le collier qui les presse l'une contre l'autre sont représentés à une échelle un peu plus grande, fig. 1 A et 1 B.

$\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$. Points de repère marqués sur le tube du manomètre, auxquels on amène le mercure et qui correspondent à des volumes déterminés du tube.

R. Robinet inférieur, par lequel on fait écouler le mercure pour faire varier les pressions.

Fig. 2. — Cette figure indique comment le liquide s'introduit de lui-même dans l'appareil, par le tube *e*. Le robinet *g* est fermé, *h* est ouvert ; la pression dans le cylindre a été rendue moindre que la pression atmosphérique, en établissant la communication avec le manomètre préalablement rempli de mercure jusqu'en *r*, et faisant ensuite écouler du métal par R. — Après l'introduction du liquide, on fond au chalumeau la partie effilée *m*, comme il a été dit page 138.

Fig. 3. — Manomètre à mercure, pour recueillir l'oxygène destiné aux expériences d'absorption.

*t*. Tube de verre portant un robinet de cuivre, et garni d'un tube de caoutchouc par lequel on introduit le gaz.

*s*. Tube de verre portant de même un robinet, et garni d'un tube de plomb qui s'adapte, au moyen d'un petit tube de caoutchouc, au tube *e* de la figure 1. C'est par là que le gaz est introduit dans le cylindre où l'on a fait le vide, autant de fois qu'on le juge convenable.

P, P. Contrepoids qui peuvent être enlevés à volonté, pour graduer la pression du gaz.

Fig. 4. — Appareil de M. Baumert pour le dégagement des gaz, d'après le dessin qu'il en a donné dans son Mémoire. La description de l'auteur a été reproduite page 148.

Fig. 5. — Appareil de M. Baumert modifié, pour le dégagement des gaz.

*u*. Ballon qui contient le liquide dont on veut dégager les gaz.

*c*. Boule de verre contenant de l'eau distillée qui sera mise en ébullition au commencement de l'expérience, afin de chasser l'air du cylindre *a*, un compresseur étant placé sur le gros tube de caoutchouc qui la réunit au ballon.

*f*. Grille sur laquelle on place quelques charbons pour empêcher la condensation de la vapeur, et la rentrée de l'air dans le cylindre *a*.

*k*. Tube de verre effilé qui sera fermé à la lampe pendant l'ébullition de l'eau dans la boule *c*.

*a*. Cylindre de verre destiné à recueillir les gaz quand on chauffera le ballon *u*, le compresseur du gros tube en caoutchouc étant enlevé.

*l*. Tube de verre soudé à la partie supérieure de la boule, afin de faciliter la manipulation.

---

# NOTE

SUR

# LA REPRODUCTION DES INFUSOIRES (1),

**Par MM. É. CLAPARÈDE et J. LACHMANN.**

La science n'a eu jusqu'ici que peu d'observations à enregistrer sur le mode de reproduction des Infusoires ciliés. Il est vrai que la division spontanée a été constatée dès longtemps chez ces animaux, et les meilleures études qui aient été faites sur cette multiplication en quelque sorte végétative remontent même à l'année 1743. Ce sont celles d'Abraham Trembley sur la fissiparité des Stentor et des Epistylis. Spallanzani nous a fait également connaître, en 1766, la gemmiparité des Vorticellines, et ce phénomène a, dès lors, été revu chez cette famille par tous les observateurs. Mais ce n'est que récemment qu'on s'est assuré que certains Infusoires engendrent dans leur intérieur de petits embryons. La première observation de ce genre remonte à l'année 1835 où M. de Siebold, dans son célèbre mémoire sur le *Monostomum mutabile*, rapporte avoir vu des embryons dans l'*utérus* d'un Infusoire *polygastrique*, parasite de l'intestin des Grenouilles.

Nul ne fit attention à la note de M. de Siebold (2), et l'éveil fut dans le fait donné pour la première fois, en 1844, par M. Focke, qui découvrit les embryons du *Paramecium Bursaria* Focke, em-

(1) Cette note est un compte rendu succinct d'un mémoire envoyé, en décembre 1855, à l'Académie des sciences, qui lui a décerné, en février 1858, la moitié du grand prix des sciences physiques pour l'année 1856. L'autre moitié a été décernée à un mémoire de notre ami M. Lieberkuhn sur le même sujet. Le temps, exigé par la reproduction des planches et par l'impression et diverses autres circonstances, nous empêchant de faire paraître notre travail avant la fin de l'année 1859, nous avons cru opportun de publier provisoirement un aperçu succinct des faits les plus intéressants que contient ce mémoire.

(2) Depuis lors, notre ami M. Lieberkühn a répété l'observation de M. de Siebold. D'après une communication verbale de ce savant, il paraîtrait que le parasite en question est celui auquel M. Ehrenberg a donné le nom de *Bursaria entozoon*.

bryons qui ont été revus plus tard par M. Cohn (1) et M. Stein. En 1847, M. Eckhard, et en 1849, M. Oscar Schmidt, signalèrent aussi chez les Stentor des phénomènes qu'ils considéraient comme relatifs à la production d'embryons internes. Leurs observations laissaient toutefois beaucoup à désirer.

Enfin parut sur la scène M. Stein, auquel nous devons la connaissance des embryons d'une foule d'Acinétiniens et du *Chilodon cucullulus*. Le bel ouvrage de M. Stein (2) inaugura une phase toute nouvelle dans l'histoire du développement des Infusoires. Il est consacré surtout à l'étude circonstanciée de la famille des Vorticellines, sur laquelle il nous fournit une foule de renseignements utiles et nouveaux. Par une suite de circonstances qu'il n'est pas possible d'énumérer dans ce court aperçu, M. Stein se laisse entraîner à supposer l'existence d'une affinité génétique entre les Acinétiniens d'une part, et les Vorticellines de l'autre. Toute Vorticelline, à une époque donnée de sa vie, s'enkyste, c'est-à-dire s'entoure d'une membrane résistante fermée de toutes parts, dans laquelle elle subit une métamorphose considérable. Les organes (disque vibratile, cirrhes, bouche, œsophage, vésicule contractile, etc.) sont résorbés, et le kyste finit par ne plus renfermer qu'une masse granuleuse homogène. Plus tard, la vésicule contractile se reforme; un nucléus apparaît de nouveau, mais sa forme est différente de celle du nucléus primitif; la membrane du kyste se hérisse de soies ou rayons ; en un mot, la Vorticelline est devenue un Acinétinien. L'Acinétinien engendre dans son intérieur un embryon qui, lorsqu'il a atteint une certaine taille, quitte le corps de son parent et va errer librement dans les eaux. Après ce premier embryon, l'Acinétinien en engendre un second, et ainsi de suite, jusqu'à l'épuisement complet de l'Acinète prolifique. Aux yeux de M. Stein, il n'y a pas de doute que ces embryons ne finissent par aller se fixer quelque part pour se transformer en Vorticellines.

(1) M. Cohn a aussi signalé des embryons chez un animal qu'il considère, à tort ou à raison, comme étant l'*Urostyla grandis* Ehr.

(2) *Die Infusionsthierchen auf ihre Entwickelungsgeschichte untersucht.* Leipzig, 1854, in-4.

Au moment où M. Stein commençait ses recherches, on ne connaissait qu'un nombre fort restreint d'Acinétiniens, tandis que les espèces de Vorticellines cataloguées étaient déjà fort nombreuses. La théorie de la *reproduction par phase acinétiforme* reposait-elle sur des bases solides, il fallait forcément trouver à chaque espèce de Vorticelline une phase acinétaire correspondante. M. Stein a été, malheureusement pour lui, trop bien servi par le hasard, ou plutôt par ses investigations scrupuleuses, dans la découverte d'espèces d'Acinétiniens nouvelles ; ce qui lui a permis d'espérer qu'on pourrait satisfaire un jour ce désidératum de la théorie et assigner à chaque Vorticelline une Acinète correspondante. Sa théorie n'ayant plus à lutter contre une invraisemblance palpable, il s'est trop facilement laissé entraîner à considérer comme un fait acquis à la science ce qui n'était encore qu'une simple hypothèse.

Et d'abord, M. Stein s'était mépris, comme tant d'autres, sur la vraie nature des Acinétiniens. Il leur avait dénié toute possibilité d'absorber directement de la nourriture. Ces animaux n'étaient à ses yeux que de simples poches organisées, qui n'avaient qu'un seul but à remplir dans la nature, celui d'engendrer des embryons. Or, il n'en est point ainsi. Les Acinètes sont des Infusoires très carnassiers, comme l'un de nous, M. Lachmann, a été le premier à le constater. Les organes qu'on a considérés chez eux comme des soies, ou des cils roides, ou des rayons, sont, dans le fait, des suçoirs rétractés, munis chacun d'une ventouse à l'extrémité. A l'aide de ces suçoirs, les Acinétiniens saisissent les animalcules qui passent dans leur voisinage et leur soutirent leurs sucs. Ce seul fait dénote chez ces animaux une structure plus complexe que celle que M. Stein voulait leur accorder.

D'autre part, une série d'observations inattendues sont venues nous démontrer, de la manière la plus formelle, que le rapport génétique supposé entre les Acinétiniens et les Vorticellines n'existe réellement pas. Nous avons tenté, sans être animé par aucune idée préconçue, de répéter les observations de M. Stein, mais l'examen scrupuleux des faits nous a conduits à des conclusions directement opposées aux siennes.

Nous allons donc, pour réfuter M. Stein, rapporter brièvement

ce que nos propres observations nous ont enseigné dans la reproduction des Acinétiniens.

Nous avons observé la formation d'embryons chez les Acinétiniens appartenant à diverses espèces, savoir : 1° chez une Podophrye, parasite des Cyclopes et des Lentilles d'eau, que nous nommons *Podophrya Cyclopum* (1) ; 2° chez une Podophrya, parasite du *Carchesium polypinum* Ehr., et nommée en conséquence par nous *P. Carchesii;* 3° chez la Podophrye que M. Stein considérait comme une phase du développement de l'*Epistylis plicatilis* Ehr., *P. quadripartita;* 4° chez une grosse Podophrye que nous avons trouvée sur des lentilles d'eau (*Lemna trisulca*), et que, en raison de sa forme, nous appelons *P. pyrum;* 5° chez la *Podophrya cothurnata* (*Acineta cothurnata* Weisse), qui est la *diademartige Acinete* de M. Stein ; 6° chez la *Podophrya ferrum equinum* (*Acineta ferrum equinum* Ehr. (2) ; 7° chez la *Podophrya Lyngbyi* (*Acineta Lyngbyi* Ehr.) ; 8° chez une Podophrye marine à suçoirs extrêmement dilatables que nous nommons *P. Trold;* 9° chez une Acinète fréquente sur les algues et les Zostéra de la côte de Norwége, et nommée par nous *Acineta patula;* 10° chez une espèce marine du fjord de Bergen, que nous appelons *Acineta cucullus;* 11° enfin chez un animal très singulier, parasite des Campanulaires de Glesnæsholm, près de Sartor Oë sur la côte de Norwége, animal qui doit sans doute être rapporté à la famille des Acinétiniens, et qui a reçu de nous le nom d'*Ophryodendron abietinum.* Les embryons de deux de ces espèces, la *Podophrya Cyclopum* et la *P. cothurnata*, étaient déjà connus, grâce aux observations de M. Stein.

Les embryons de ces diverses espèces ne sont point semblables entre eux. En effet, les uns sont munis d'une simple zone ou ceinture de cils vibratiles (pouvant former cependant plusieurs rangs), d'autres portent une espèce de calotte ciliée à

(1) Les genres *Acineta* et *Podophrya* n'ont pas été distingués clairement jusqu'ici. Nous nous contenterons de dire pour le moment que nous réservons le nom générique d'*Acineta* aux espèces pourvues de coque, tandis que nous donnons celui de *Podophrya* aux espèces sans coque.

(2) Cette espèce est différente de la *Podophrya cothurnata.*

l'une de leurs extrémités; d'autres enfin sont ciliés sur toute leur surface.

Ne pouvant entrer ici dans des détails circonstanciés sur la formation des embryons de chacune de ces espèces, nous allons extraire de notre mémoire ce qui est relatif à la formation des embryons, et surtout au sort définitif des embryons de la seule *Podophrya quadripartita.*

Le jeune embryon, qui, chez cette espèce, se forme isolément, est logé dans une grande cavité, au-dessus du nucléus de l'animal parent. Chez une Podophrye, dont la longueur était de 0$^{mm}$,08, nous avons trouvé un embryon long de 0$^{mm}$,057, et lorsqu'on considère que la position de cet embryon est ordinairement transversale, et que la Podophrye est moins large que longue, on verra que la cavité embryopare occupait à peu près toute la largeur de l'animal. Dans un autre cas, où nous avons malheureusement négligé de prendre des mesures micrométriques, la taille de l'embryon se rapprochait encore plus de celle de son parent. Le rapport de l'axe du premier à celui du second pouvait être celui de 8 à 10. L'embryon se tournait avec beaucoup de véhémence autour de son axe, tandis que, de son côté, le corps du parent se contractait violemment comme pour tenter de se débarrasser de cette progéniture incommode. A chaque contraction, les suçoirs, dirigés d'abord vers le haut, s'abaissaient énergiquement, comme des leviers dont l'hypomochlion aurait été au point d'insertion des suçoirs. L'embryon se trouvait poussé en avant par ces mouvements et l'on voyait une partie du corps du parent former alors une espèce de hernie à la partie supérieure. Enfin, une contraction plus énergique que les autres fit déchirer cette partie supérieure, l'embryon sortit lentement, déploya au dehors sa ceinture de cils vibratiles, et s'éloigna bientôt à grande vitesse. Il est peu probable, ce nous semble, que, après une parturition aussi laborieuse, qui entraîne la perte de plus de la moitié de la substance du parent, celui-ci passe immédiatement à la formation d'un nouvel embryon. Une seconde opération semblable le réduirait à néant. Il est probable que ce parent, qui, immédiatement après sa délivrance, a un air assez misérable et reste complétement affaissé sur lui-même,

ne tarde pas à sucer tout ce que ses tentacules peuvent atteindre pour réparer une pareille perte; et ce n'est sans doute qu'après avoir atteint derechef ses dimensions primitives qu'il continue l'œuvre de multiplication en formant un nouvel embryon.

Il est intéressant de mentionner ici que nous avons réussi à constater le passage d'un embryon de la *Podophrya quadripartita*, à l'état de Podophrye, tandis que, suivant la théorie de M. Stein, cet embryon devrait se transformer en *Epistylis plicatilis*. Voici le résumé de l'observation dont il s'agit :

L'embryon était assez gros et occupait, comme d'ordinaire, une position transversale dans son parent. Les suçoirs de ce dernier étaient à peu près tous contractés, et l'animal finit même par rétracter complétement ceux qu'on voyait encore, ainsi que cela arrive souvent chez les Acinétiniens dans le moment qui précède la délivrance. Il vint un moment (c'était en juillet à onze heures cinq minutes du matin) où l'embryon se retourna et adopta une position longitudinale. En même temps, la partie antérieure du parent se déchira, et le jeune individu commença à faire lentement son entrée dans le monde. Il s'arrêta quelques instants à moitié chemin, ce qui nous permit d'adapter rapidement un faible grossissement à notre microscope. Bientôt, la ceinture de cils vibratiles étant devenue libre, l'embryon se trouva en un instant hors du parent, dont l'ouverture se referma et les parois s'affaissèrent. Tout à coup, il partit comme une flèche, si bien que c'était tout un travail que de suivre ses évolutions. Heureusement, cette période de natation surexcitée ne dura pas longtemps; déjà au bout de cinq à six minutes, nous vîmes le jeune animal ralentir ses mouvements en s'arrêtant volontiers sur les pédoncules d'*Epistylis plicatilis*. Les temps d'arrêt étaient cependant fort courts : l'animal reprenait bientôt sa course vagabonde, la place ne lui convenant probablement pas. Enfin, il choisit un pédoncule d'Épistylis, sur lequel nous le vîmes passer à un état de repos plus permanent. Ne voyant, au bout de quelques minutes, plus de mouvements chez lui, nous changeâmes notre système objectif contre un grossissement plus fort. Nous reconnûmes alors que l'embryon, tout en offrant encore sa forme primitive, avait déjà perdu sa ceinture

vibratile. Par contre, des suçoirs très courts, mais déjà munis de leurs ventouses, faisaient saillie en deux points. Il n'est guère possible d'admettre que ces organes se fussent formés aussi rapidement. Il est, au contraire, fort probable qu'ils préexistaient à la période de natation. Le jeune embryon paraît donc être déjà dans l'intérieur de son parent une Podophrye toute formée. Seulement, ses suçoirs demeurent rétractés durant la période où il est muni de la ceinture ciliaire. La jeune Podophrye commença aussitôt à sécréter un pédicule, et son corps se trouvant par suite éloigné du pédicule de l'Épistylis, on put voir le point par lequel il était fixé sur celui-ci. L'embryon avait passé à onze heures douze minutes environ à l'état de repos. Le même jour, à quatre heures du soir, son pédicule était déjà une fois et demi aussi long que son corps.

L'embryon de la *Podophrya quadripartita* est donc susceptible de se transformer directement en Podophrya, ce qui rend déjà la théorie de sa transformation en Épistylis fort douteuse (1).

Plus tard, nous eûmes l'occasion de faire une rencontre bien curieuse. Il s'agissait encore d'une *Podophrya quadripartita*, dans l'intérieur de laquelle on voyait une grande cavité renfermant une Podophrye bien développée, munie de son pédoncule et de ses faisceaux de suçoirs. La Podophrye incluse avait à peu près la taille des gros embryons ordinaires. Son pédoncule était recourbé et son corps paraissait comme replié sur lui-même. Évidemment, il faut admettre ici que la naissance de l'embryon avait été empêchée par une cause ou par une autre, et que celui-ci avait pris la forme d'Acinète dans l'intérieur même du corps de son parent. Le pédoncule qu'il s'était formé, n'ayant pas trouvé d'espace suffisant, avait dû se recourber, si bien que la jeune Podophrye était repliée deux fois sur elle-même.

L'examen des embryons de la *Podophrya quadripartita* ne parlait donc point en faveur d'un rapport génétique subsistant entre

(1) Nous avons observé de même *directement* la transformation de l'embryon des Acinétiniens en un animal semblable au parent chez la *Podophrya Cyclopum*, la *Podophrya cothurnata* et l'*Acineta patula*. M. Cienkowsky a déjà rapporté, en 1855, une observation analogue, qui est sans doute relative à la *Podophrya Cyclopum*.

cet Acinétinien et l'*Epistylis plicatilis*. Nous devions naturellement compléter notre étude, en nous demandant ce qu'il advient des kystes de l'Épistylis, kystes qui, selon M. Stein, doivent se métamorphoser en Podophryes.

M. Stein a décrit des kystes chez l'*Epistylis plicatilis*. Il a vu les Épistylis se munir d'une couronne ciliaire postérieure, se détacher de leur famille, nager pendant un certain temps librement dans l'eau, puis venir se fixer quelque part sur la coquille de la Paludine qui portait la famille dont elles faisaient partie naguère. A leur extrémité postérieure, il vit se produire un nouveau pédoncule, qui reste excessivement court, tandis que la couronne ciliaire postérieure ondule lentement, sans cependant que l'Épistylis fasse saillir au dehors son organe vibratile (le *front* dans la nomenclature de M. Ehrenberg). Avant même que la sécrétion du pédicule soit achevée, le corps prend une forme ovoïde et se couvre sur toute la surface d'une couche gélatineuse qui s'épaissit par suite d'un nouveau dépôt de matière sur la surface interne. Cette substance s'endurcit, de manière à former un kyste épais, dans l'intérieur duquel on peut toujours distinguer l'Épistylis.

Mais ces kystes sont toujours isolés et fixés directement sur la paludine, et, de plus, ils ont des pédicules très larges et courts. Les Podophryes, au contraire, sont fixées sur les arbres épistyliens, et sont munies d'un pédoncule mince et long. Cette difficulté a paru avec raison insurmontable à M. Stein, et il a dû admettre que les kystes observés par lui n'étaient point destinés à se transformer en Acinètes, mais bien à engendrer directement une foule de petits embryons. En revanche, il *prédit* qu'on trouvera sur les arbres épistyliens d'autres kystes, qui, eux, seront destinés à se métamorphoser en Podophryes.

Nous avons retrouvé les kystes observés par M. Stein, et nous avons pu nous assurer que s'ils ne se transforment pas en Podophryes, ils n'engendrent pas non plus d'embryons dans leur intérieur, dans les circonstances normales du moins. Les Épistylis les forment pour échapper à des influences extérieures nuisibles, telles que les rigueurs de l'hiver ou la dessiccation. Lorsque le moment propice est venu, elles rompent leurs kystes, au fond des-

quels elles restent cependant attachées par leur partie postérieure. Elles sécrètent alors un pédicule, se reproduisent par division spontanée, et forment ainsi des familles portées par un tronc émergeant d'une cupule largement pédicellée, qui est le reste du kyste de naguère.

En outre de ces kystes déjà observés par M. Stein, nous en avons trouvé d'autres, portés par les arbres épistyliens eux-mêmes. Au premier abord, nous crûmes que c'étaient là les kystes prédits par M. Stein, kystes que ce savant prétendait devoir se transformer en Podophryes. Toutefois, nous pûmes bientôt nous convaincre qu'il n'en était rien.

En effet, le contenu de ces kystes se trouva être un corps cilié sur toute la surface, et muni d'un grand nombre de vésicules contractiles. Ces deux caractères suffisaient pour l'éloigner considérablement soit de l'état normal d'une Épistylis, soit d'un Acinétinien quelconque; et cependant il n'était pas possible de douter que ces kystes ne fussent portés par des branches formées par une Épistylis, et par aucun autre animal. Ce corps cilié tournait sur lui-même dans l'intérieur du kyste avec une constance désespérante, et mit pendant longtemps notre patience à l'épreuve. Enfin nous nous décidâmes à fixer un certain nombre de kystes dans le champ du microscope et à ne pas les perdre de vue, jusqu'à ce que quelqu'un de leurs habitants se fût décidé à rompre la paroi de sa prison. Au bout de huit à neuf heures d'attente, nous vîmes un des kystes éclater, et nous ne fûmes pas peu surpris d'en voir sortir un Trachélien du genre *Amphileptus* (1).

Dans la suite, nous pûmes observer à plusieurs reprises des *Amphileptus* sortant ainsi des kystes portés soit par des arbres épistyliens, soit par des arbres carchésiens. Ce phénomène nous donna beaucoup à réfléchir, et semblait nous mettre sur la voie d'une parenté intime entre les Vorticellines et les Trachéliens,

(1) Il règne dans les classifications de MM. Ehrenberg et Dujardin une grande confusion à l'égard des genres *Trachelius* et *Amphileptus*. Nous essayerons ailleurs de délimiter ces genres d'une manière un peu plus exacte. L'animal en question devra passer alors dans le genre *Amphileptus*. Il est probable qu'il est identique avec le *Trachelius Meleagris* Ehr.

parenté qui n'avait pas été soupçonnée jusqu'alors, et nous poursuivîmes avec ardeur ces *Amphileptus*, qui paraissaient être résultés de la métamorphose des Épistylis, espérant voir ce qu'il adviendrait d'eux.

Toutefois l'étude des kystes n'avait pas dit son dernier mot, et nous réservait encore la découverte de plus d'un fait intéressant. M. Johannes Müller qui avait suivi jusque-là nos observations avec intérêt, et les avait confirmées de tous points, fut le premier à trouver un kyste semblable aux autres, mais dans lequel se mouvait un *Amphileptus* renfermant une Épistylis contractée, mais bien développée et très vivace. Nous ne tardâmes pas à trouver un grand nombre de kystes présentant la même image. Lorsque nous les poursuivions pendant longtemps, nous voyions l'Épistylis devenir de plus en plus lente dans ses mouvements; les pulsations rhythmiques de sa vésicule contractile devenaient de plus en plus rares, puis cessaient tout à fait. Bref, l'Épistylis périssait, et ne formait plus qu'une masse opaque à l'intérieur de l'*Amphileptus*. Cette mort était-elle une conséquence de la marche normale du phénomène, ou des circonstances exceptionnelles dans lesquelles l'animal se trouvait placé? C'est ce que nous ne pouvions encore décider.

Nous trouvâmes alors d'autres kystes semblables aux précédents, mais dans lesquels l'Épistylis, tout en étant logée à l'intérieur de l'*Amphileptus*, était pourtant fixée sur le pédoncule porteur du kyste, à peu près comme le noyau d'une pêche est fixé sur la branche, tout en étant entouré de la pulpe du fruit, pulpe qui, dans cette image, représente le corps de l'*Amphileptus*. L'*Amphileptus* se trouvait naturellement gêné dans ses mouvements par le point d'attache de l'Épistylis. Il faisait un demi-tour de gauche à droite, puis, revenant sur lui, un demi-tour de droite à gauche, puis de gauche à droite, et ainsi de suite; peu à peu l'excursion de ce mouvement devenait plus considérable. L'*Amphileptus* faisait un tour entier, puis même un tour et demi avant de revenir sur lui-même. Le point d'attache de l'Épistylis sur son pédoncule subissait un mouvement de torsion évident. Enfin l'Épistylis fut violemment arrachée à son point d'attache, et l'*Am-*

*phileptus*, ne sentant plus d'entraves, se mit à tourner sans discontinuer dans une seule et même direction. Le kyste offrait alors identiquement l'image des kystes que nous avons décrits précédemment.

Cette observation aurait déjà pu nous donner la clef du phénomène; toutefois nous ne savions pas encore bien de quel côté trouver la véritable explication; enfin elle se trouva d'elle-même. Un jour nous observions un *Amphileptus* qui rampait lentement sur une colonie d'Épistylis, dans l'espoir de voir ce qu'il adviendrait de lui. La manière dont il s'approchait de ces Vorticellines, les palpant pour ainsi dire en les enserrant à moitié de son corps souple, pouvait déjà paraître suspecte; enfin il s'attaqua directement à un individu par la partie supérieure de celui-ci. Il ouvrit sa large bouche, qu'on ne réussit jamais à voir que lorsque l'animal mange (telle est l'exactitude avec laquelle se ferment des lèvres aussi souples que son corps), et il se glissa lentement sur l'Épistylis, comme un doigt de gant qu'on enfile sur le doigt. L'*Amphileptus* se contracta immédiatement en boule et sécréta son kyste, dans lequel il commença ces mouvements de rotation de droite à gauche et de gauche à droite, qui avaient pour but d'arracher sa proie à son pédoncule. Nous avions alors sous les yeux un kyste parfaitement semblable aux derniers que nous avons décrits.

On le voit, ces kystes, portés par les familles d'Épistylis et par celles de *Carchesium* (et sans doute aussi par d'autres espèces de Vorticellines), n'appartiennent ni aux Épistylis, ni aux *Carchesium*, mais bien à l'*Amphileptus*, qui a dévoré le légitime propriétaire du pédoncule porteur du kyste. Il s'agit d'un cas de parasitisme, et point du développement des Vorticellines.

Il ressort de ce qui précède que soit l'étude des embryons de la *Podophrya quadripartita*, soit l'examen des deux espèces de kystes qu'on a rapportées à l'*Epistylis plicatilis*, parlent directement contre la théorie de la reproduction des Vorticellines par phases acinétiformes. Nous ne croyons pas nécessaire dans ce court résumé de recourir à d'autres arguments tirés du développement d'autres espèces d'Acinétiniens. Cet exemple suffira pour démon-

trer le peu de solidité des bases d'une théorie qui, pour nous, a fait son temps.

Toutefois nous insisterons encore sur un fait, qui aura peut-être plus d'importance que beaucoup d'autres, pour donner le coup de grâce à la théorie des phases acinétiformes. Ce fait est relatif à la production d'embryons internes chez la même *Epistylis plicatilis* qui nous occupait tout à l'heure ; en effet, les embryons des Épistylis se forment parfaitement de la même manière que ceux des Acinétiniens, ce qui n'oblige plus les Épistylis à se transformer en *Podophrya quadripartita* pour devenir prolifiques.

Il est facile de reconnaître lorsqu'on a à faire à une famille d'Épistylis prolifique ; en effet, tous ou presque tous les individus d'une semblable famille présentent sur le flanc, à une place variable, une espèce de tumeur, dont le sommet semble ouvert ; c'est en quelque sorte un petit volcan avec son cratère, ou, si l'on aime mieux, un abcès ouvert. Au premier abord, on est tenté de considérer cette tumeur comme pathologique ; mais il n'en est rien : c'est la place qui est désignée pour fonctionner en quelque sorte comme *os uteri*.

Nous entrerons ici dans quelques détails relatifs à la première formation des embryons de l'*Epistylis plicatilis*, afin de réparer une omission que nous avons faite à propos des embryons des Acinétiniens, dont nous n'avons pas touché le premier développement. Les embryons de cette Épistylis doivent leur origine première à une division spontanée de l'organe, désigné, à tort, sous le nom de *nucléus*. Le nucléus s'étrangle en un point, et l'étranglement devenant de plus en plus profond, l'extrémité de l'organe se trouve séparée du reste, et semble former pendant un certain temps comme un second nucléus à côté du premier. Cependant il ne tarde pas à se former dans son intérieur une petite vésicule, dont les contractions régulières sont les premiers indices de vie de l'embryon. Dans d'autres cas, on voit ce fragment du nucléus se tuméfier considérablement, et dans sa masse se dessinent un certain nombre de corpuscules sphériques ou ovoïdes, dont chacun se munit d'une vésicule contractile. Dans ces cas-là, il se forme autant d'embryons qu'il y a de corpuscules ovoïdes. Chacun d'eux

se munit d'une ceinture vibratile, à l'aide de laquelle on le voit s'agiter dans une cavité spéciale, formée au milieu du chyme épais qui remplit la cavité du corps. Peu à peu chaque embryon s'approche de la base de la tumeur que nous avons signalée, et on le voit gagner l'extérieur ; après quoi, il s'en va errer dans les eaux. La petitesse de l'embryon et la rapidité de ses mouvements nous a toujours empêché de poursuivre la suite de son développement. Cependant nos observations sur d'autres Infusoires nous permettent de conclure par analogie, avec une assez grande vraisemblance, que ces embryons vont se fixer quelque part, et se transforment directement en Épistylis.

Ces exemples, tirés de la reproduction des Acinétiniens et de celle des Vorticellines, suffisent pour montrer d'abord que le rapprochement, tenté par M. Stein au point de vue génétique entre ces deux groupes d'Infusoires, manque de base solide, et de plus que les embryons se forment aux dépens de l'organe nommé *nucléus*. Nous n'entrerons pas, par suite, dans des détails circonstanciés sur les embryons des autres espèces d'Infusoires que nous avons été dans le cas d'observer, tels que les embryons du *Stentor polymorphus* Ehr., du *Paramecium Aurelia* Ehr., du *P. Bursaria* Focke, d'un *Paramecium* voisin de ce dernier, mais non encore décrit et désigné par nous sous le nom de *P. putrinum;* d'un Infusoire parasite des appendices veineux d'une Céphalopode (*Eledone cirrhosa*) qui appartient au genre *Dicyema* Köllik., et que nous nommons *Dicyema Muelleri;* enfin les embryons d'un parasite de l'*Epistylis plicatilis*, qui a reçu de nous le nom d'*Urnula Epistylidis.* Ce dernier n'est pas, du reste, un Infusoire proprement dit, mais appartient plutôt au groupe des Rhizopodes. Relativement aux *Stentor*, nous remarquerons seulement en passant que M. Ehrenberg base plusieurs de ses espèces (*Stentor polymorphus*, *S. Muelleri*, *S. cæruleus*, *S. polymorphus*, et peut-être *S. niger* et *S. igneus*) essentiellement sur des différences de couleur, sur des variations de forme du nucléus, qui est tantôt en patenôtre, tantôt en bande allongée, tantôt simplement discoïdal, et enfin sur la présence ou l'absence d'une crête ciliaire latérale. Or, le premier de ces caractères, la couleur, est sans importance ;

le second, la forme du nucléus, a sa cause dans les modifications que subit le nucléus pour arriver à la formation des embryons ; car, chez tout *Stentor* né sous forme d'embryon, le nucléus, d'abord discoïdal, s'allonge bientôt en forme de bande étroite, et finit par adopter la forme de patenôtre; enfin le troisième caractère, la présence ou l'absence de la crête, ne peut pas plus que les précédents servir de caractère spécifique, puisque tout individu est susceptible, suivant les phases de sa vie, de posséder une crête ou d'en être dépourvu. La formation de la crête est le premier indice d'une division spontanée longitudinale, ou, pour parler plus exactement, *oblique*, qui se prépare. Cette crête n'est pas autre chose que la première apparition de la spirale des cirrhes buccaux du second individu. C'est là ce qu'Abraham Trembley avait déjà constaté en 1743; mais ses observations avaient passé inaperçues jusqu'ici.

Sans donc entrer dans de plus amples détails sur ces faits, nous allons passer immédiatement à un coup d'œil général sur la substance du mémoire présenté par nous à l'Académie.

Nous avons en somme constaté trois modes de reproduction dans la classe des Infusoires : fissiparité, gemmiparité et production d'embryons internes. Le premier seul peut jusqu'ici élever des prétentions à une généralité incontestable. Observé dans tous les groupes, il est peu probable qu'aucune espèce s'y soustraie. Le second n'avait été observé jusqu'ici que chez les Vorticellines; nous en avons trouvé également des exemples chez les Acinétiniens. Nous avons, du reste, constaté l'impossibilité d'établir des limites tranchées entre une fissiparité et une gemmiparité (1). Ce

(1) La fissiparité n'est, du reste, point un phénomène aussi simple qu'on se le représente vulgairement, et la comparaison de la division spontanée d'un Infusoire avec la division d'une cellule ne peut pas être sérieusement maintenue devant l'examen des faits. Les observations relatives à ce phénomène, qui ont été publiées jusqu'ici, sont, à l'exception de celles de Trembley, pleines d'erreurs, comme nous le montrerons à satiété dans notre mémoire. M. Stein lui-même, qui, dans ses *observations*, se fait en général remarquer par une grande exactitude, s'est grandement mépris au sujet de la division spontanée des Vorticellines. Dans toute espèce de division spontanée chez les Infusoires, chacun des individus produits garde certains organes de l'individu primitif *détermi-*

n'est en somme qu'une différence du plus au moins ; ce sont deux variétés de la division spontanée. Nous ne trouvons donc au fond que *deux* grands modes seulement de reproduction essentiellement différents répandus chez les Infusoires : l'un, la division spontanée, se trouve partout ; l'autre, la formation d'embryons internes, a été constatée dans un nombre de familles très considérable (Acinétiniens, Colpodéens, Trachéliens, Oxytrichiens, Bursariens, Vorticellines, Opalines, et, même en dehors des véritables Infusoires, chez un Rhizopode). De plus, les modifications que nous avons vu naître dans le nucléus de beaucoup d'autres Infusoires permettent de supposer que la formation des embryons n'est pas restreinte seulement à ces groupes-là ; il est même très probable qu'il s'agit là d'un phénomène très général chez les Infusoires. Ces embryons résultent toujours d'une division du nucléus, qui, à ce point de vue, mériterait d'être considéré comme un embryogène.

*nés pour chaque espèce*, tandis qu'il est obligé de former les autres à nouveau. Le nucléus paraît cependant se diviser constamment. (Chez les genres d'Oxytrichiens qui ont deux nucléus, comme les Stylonychies et les Oxytriques, le nucléus se partage pour former les deux nucléus de l'individu antérieur, tandis que le nucléus postérieur se divise en deux moitiés qui deviennent les nucléus de l'individu postérieur.) Les deux individus résultés de la division, bien qu'ayant une valeur égale, sont cependant, au point de vue morphologique, assez dissemblables, et ils offrent quelquefois un aspect assez différent l'un de l'autre. C'est ce que nous avons reconnu en particulier chez l'*Urnula Epistylidis* et chez l'*Acineta mystacina*, où l'un des nouveaux individus est cilié sur toute sa surface, tandis que l'autre est glabre. L'individu privilégié, c'est-à-dire celui qui conserve la plus grande partie des organes de l'ancien, doit cependant toujours former à nouveau certaines parties essentielles que l'autre emporte avec lui. Quelquefois, il est vrai, il n'a guère qu'à compléter une partie du nucléus, comme cela se voit chez les Stentors, où l'individu postérieur est obligé de former tous les organes importants à nouveau, excepté un fragment de nucléus qu'il reçoit de l'individu primitif. Ici la fissiparité touche déjà de bien près à la reproduction par gemmes, et la seule différence qu'on puisse établir entre ces deux modes de reproduction, c'est que dans le premier l'individu le moins favorisé reçoit du moins une partie *préexistante* du nucléus, tandis que dans le second la gemme doit former un nucléus *nouveau*. Chez les *Dendrosoma* eux-mêmes, c'est une branche *nouvelle* du nucléus ancien qui devient le nucléus du bourgeon ; toutefois cette différence est bien peu essentielle.

Une fois ces deux grands modes de reproduction bien constatés, indépendamment de leurs variétés, il est permis de se demander quelles relations existent entre eux. Existent-ils l'un à côté de l'autre parfaitement exempts de relations réciproques? Un individu donné peut-il à loisir se multiplier par division spontanée ou bien engendrer des embryons, selon que la fantaisie lui en prend? C'est là une supposition peu probable. Il est plus loisible d'admettre que ces deux modes de génération reviennent à tour de rôle à des périodes distinctes. Nous avons même un cas, dans lequel nous pouvons affirmer qu'une espèce de périodicité existe, à savoir celui des Épistylis. Jusqu'ici, en effet, nous n'avons trouvé d'individus prolifiques que sur des arbres bien et dûment développés. Un individu, sorti d'une Épistylis sous la forme d'embryon, va sans doute se fixer quelque part, où il se métamorphose en Épistylis, et produit par division spontanée une famille tout entière. Une première génération fissipare donne naissance à un arbre à deux branches; une seconde, à une famille de quatre individus; une troisième, à une de huit, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'arbre ait pris son développement définitif, et, dans ce cas, celui-ci forme, chez une *Epistylis plicatilis*, un corymbe, dont tous les individus appartiennent à une génération de même rang. Ce n'est qu'à ce moment-là que de nouveaux embryons paraissent pouvoir être engendrés, et, à ce point de vue, nous avons déjà une alternance, sinon dans la forme des individus adultes, du moins dans le mode générateur.

Mais il y a plus. Tout arbre d'Épistylis, qui est arrivé à sa croissance définitive, n'engendre pas nécessairement des embryons. Bien au contraire: les familles prolifiques sont relativement rares, et forment jusqu'ici pour ainsi dire l'exception. Dans le cas ordinaire, lorsqu'une famille a atteint un certain degré de développement, ses membres se munissent d'une couronne ciliaire postérieure, s'éloignent vers tous les points de l'horizon, et vont, chacun pour leur compte, donner naissance à une nouvelle famille, à un nouvel arbre, par division spontanée. Il est possible que les individus de cette famille, lorsqu'elle est complétement développée, puissent devenir prolifiques, mais il est plus probable

qu'il y a, en général, répétition du même phénomène que la première fois, et fondation de familles fissipares du troisième ordre par les individus qui formaient les familles de second ordre, lorsque celles-ci se sont dissoutes. Y a-t-il une certaine régularité dans la répétition de ce phénomène, une loi qui la régisse? C'est là une question que nous ne pouvons trancher, mais nous serions plus tentés d'y répondre par l'affirmative que par la négative. Il est, en effet, assez probable que les familles produites par la division d'individus détachés de la famille précédente doivent se succéder un certain nombre de fois avant d'arriver à produire des individus prolifiques. En un mot, il est probable que l'alternance offre un certain degré de régularité.

Mais quels sont au fond les caractères qui distinguent essentiellement l'un de ces modes de génération de l'autre? Jusqu'ici nous ne pouvons en produire qu'un seul. Les embryons naissent, en effet, par une sorte de gemmiparité *interne*, tandis que dans l'autre cas nous avons à faire à une fissiparité ou à une gemmiparité *externe*. De plus, un bourgeon *externe* semble pouvoir se former à une place quelconque de la surface du corps, le plus souvent, il est vrai, chez les Vorticellines, à la base du corps, mais aussi parfois en d'autres points, même au péristome. La production d'embryons internes est, au contraire, liée à un organe déterminé, le nucléus, organe que M. Ehrenberg, par un hasard singulier, avait déjà relié à la génération en le considérant comme une glande spermagène, à côté de laquelle il voulait trouver, il est vrai, encore un ovaire. Ce nucléus est donc un *embryogène*, une espèce de glande génératrice. Si donc la production d'embryons internes est un phénomène tout asexuel, c'est dans tous les cas un mode de gemmiparité d'un tout autre ordre que la production de bourgeons externes. Il y a ici une localisation déterminée.

Mais il est fort possible que ces embryons soient produits autrement que par une simple gemmation, et voilà pourquoi nous avons préféré le nom général d'*embryon* à celui de *gemme interne*. On se récriera peut-être, lorsqu'on nous entendra soulever l'hypothèse de sexes chez les Infusoires. M. Ehrenberg a eu tellement à souffrir pour s'être laissé aller à les créer avant d'avoir des

preuves positives de leur existence! Toutefois nous ne partons pas du même point de vue que l'illustre micrographe de Berlin. Nous ne pensons pas *à priori* devoir retrouver chez les animaux inférieurs les organes des animaux supérieurs, et nous ne défendrons d'une manière positive l'existence des sexes chez les Infusoires que lorsque nous aurons trouvé des mâles, et que nous les aurons vus fonctionner comme tels. Cependant en face de faits connus jusqu'ici chez d'autres animaux, chez des Radiaires, des Helminthes, des Tuniciers, des Insectes, où il existe deux modes de génération, et où l'un de ces modes offre un caractère de sexualité incontestable, tandis que l'autre est asexuel; en face de ces faits, disons-nous, n'est-il pas permis de songer à la possibilité de trouver un jour des Infusoires sexués? Nous pouvons même relever, en passant, la circonstance que chez certains individus enkystés appartenant à l'*Urnula Epistylidis*, on voit se former des cavités globuleuses remplies de petits corpuscules en proie à une vive agitation. Mais nous ne nous sommes pas permis de décider si ce n'était là qu'un mouvement brownien, ou bien s'il fallait y voir quelque chose d'analogue aux zoospermes des animaux supérieurs.

Nous devons, dans le cours de ces considérations, mentionner le fait singulier découvert d'abord par M. Kölliker ou peut-être déjà par M. Leclerc, et connu sous le nom de *conjugaison* ou de *zygose*. Ce phénomène avait été constaté par divers observateurs chez deux espèces d'Actinophrys, chez la *Difflugia Helix* et chez la *Podophrya fixa;* nous avons reconnu, en outre, son existence chez plusieurs espèces d'Acinétiniens, une Vorticelle, un Carchésium et deux Épistylis. Il est probable, par conséquent, qu'on lui découvrira un jour une extension plus considérable encore, soit chez les Rhizopodes, soit chez les Infusoires. Quelles sont les relations qui existent entre cette zygose et la génération? C'est ce que nous ne pouvons dire. Nous ne pouvons pas même affirmer qu'il y en ait de bien certaines. En faveur de ces relations, nous ne pouvons citer jusqu'ici que la formation de huit embryons dans un Zygozoïte (1), résultat de la conjugaison de deux *Podophrya Pyrum*.

(1) Tel est le nom que, pour plus de brièveté, nous donnons à l'être mixte résultant de la fusion de deux individus ou d'un plus grand nombre.

Il est possible qu'il n'y eut là au fond que la réunion dans une cavité commune de quatre embryons de chaque individu composant (1), embryons formés tout à fait indépendamment de la zygose. C'est encore douteux, et il n'est en tout cas pas possible d'admettre avec M. Stein que la zygose de deux Infusoires soit un phénomène purement accidentel. Il est certain toutefois que ni les Acinétiniens ni les Vorticellines n'ont besoin d'une zygose pour engendrer des embryons internes, et que si l'on devait jamais reconnaître dans la zygose l'analogue d'une fécondation, il faudrait nécessairement distinguer deux espèces d'embryons : les uns produits asexuellement par une division du nucléus, les autres engendrés par le concours des sexes. Nous n'avons malheureusement pu observer les embryons de la *Podophrya Pyrum* en dehors de leurs parents conjugués, et nous ne savons par conséquent s'il existe une différence objective entre les embryons issus d'un individu non conjugué, et ceux qui sont engendrés par un Zygozoïte (2). Mais c'est, du reste, peu important. Ces embryons seraient parfaitement semblables de forme entre eux, qu'ils se distingueraient suffisamment les uns des autres par leur mode d'origine. En effet, dans le sens de M. Steenstrup, il n'est point nécessaire, pour satisfaire aux conditions de la génération alternante, que les différents termes de la série, qui séparent deux termes identiques dans le développement d'une espèce, offrent des différences de forme extérieure. Il suffit que les uns soient produits sexuellement et les autres asexuellement.

(1) Dans l'état normal, chaque *Podophrya Pyrum* paraît en effet former *quatre* embryons à la fois.

(2) Remarquons en passant qu'il existe des cas où nous connaissons deux espèces d'embryons internes, des *Macrogonidies* et des *Microgonidies animales*, s'il était permis d'employer ici les termes de M. Alex. Braun. Nous en avons vu des exemples chez la *Podophrya quadripartita*, l'*Ophryodendron abietinum*, le *Stentor polymorphus*, et probablement aussi chez les Vorticellines, l'*Urnula Epistylidis*, etc. Dans l'un des cas, les embryons sont gros et isolés, ou tout au moins en fort petit nombre : dans l'autre, ils sont petits et nombreux. Nous n'avons cependant jusqu'ici rien vu qui pût nous faire supposer avec vraisemblance qu'il y eut une différence dans le mode, suivant lequel ces deux genres d'embryons sont produits.

Nous ne pouvons malheureusement rien dire de positif à cet égard, et le fait que la conjugaison n'a pas lieu seulement entre deux individus, mais aussi entre trois, quatre, cinq, six, sept, et même davantage, vient nous avertir de procéder avec circonspection avant de nous décider à voir dans ce phénomène une copulation dans toute l'étendue du terme. Le cas de la zygose d'un bourgeon d'Épistylis encore attenant à son parent avec un individu adulte, cas que nous avons eu l'occasion d'observer, semble aussi peu en faveur avec les idées de fécondation, car il paraît difficile d'admettre qu'une gemme à demi formée ait déjà atteint la maturité sexuelle. D'un autre côté, nous avons vu des Stentor, occupés à se diviser, renfermer néanmoins déjà des embryons, et la fissiparité de ces animaux ressemble singulièrement à une production de gemmes. C'est une circonstance qu'on pourrait exploiter en sens inverse.

Quoi qu'il en soit, l'existence de sexes chez les Infusoires, bien que rendue plus probable que précédemment, n'est pas encore reconnue, et l'existence d'une génération alternante, comme l'entend M. Steenstrup, reste encore à démontrer. Il est seulement certain que chez les Épistylis un certain cycle de développement existe. Probablement quelque chose de tout analogue se retrouve aussi chez les autres Infusoires. Nous regardons, par exemple, comme probable qu'un Stentor, né sous la forme d'embryon interne, n'engendre pas immédiatement de nouveaux embryons, mais qu'il doit auparavant se multiplier par une division spontanée, répétée un certain nombre de fois. La même chose peut se dire des Paramécium, etc. Une exception serait formée par les Acinétiniens, chez lesquels la division spontanée paraît être relativement fort rare et où un individu né sous la forme d'embryon reproduit aussi sans doute des embryons. Nous remarquerons, en passant, que, soit chez les Acinétiniens, soit chez les Actinophrys, où la division spontanée est relativement rare, la zygose est, au contraire, très fréquente. L'avenir décidera s'il y a une liaison quelconque entre ces deux circonstances.

Il existe donc des cycles générateurs chez les Infusoires ciliés, et sans doute aussi chez les Rhizopodes, cycles comparables à ceux

que l'on connaît chez certaines Algues et chez des Infusoires flagellés. Chez beaucoup d'Algues et d'Infusoires flagellés, on trouve, en effet, une série de générations végétatives ou par simple division, auxquelles succède une génération de transition, parfois produite par une conjugaison, comme chez les Zygnémées, les Desmidiées, les Diatomées, parfois aussi sans conjugaison, comme chez les Volvocinées ou les Englènes, et cette génération de transition inaugure un cycle nouveau (1). Chez les Infusoires ciliés et peut-être aussi les Rhizopodes, nous pouvons de même admettre un cycle formé par une série de générations fissipares, dont la dernière donne naissance à une génération de transition (celle des embryons), laquelle devient le premier terme d'un cycle nouveau. Peut-être sera-t-il permis de distinguer un jour deux espèces de cycles : 1° Un grand cycle dont les générations de transition seraient produites par la zygose de deux ou de plusieurs individus, donnant sexuellement naissance à des embryons ; 2° dans ce grand cycle, des cycles de second ordre, composés de générations fissipares, dont les générations de transition seraient caractérisées par la production asexuelle (sans zygose) d'embryons (gemmes internes). La chose est encore douteuse, et il n'est même pas improbable qu'on ne vienne à reconnaître un jour un caractère de sexualité à toute production d'embryons.

En terminant cet aperçu, nous croyons devoir répéter brièvement ici les conclusions que nous avons posées dans le mémoire déposé à l'Académie en décembre 1855 :

1° Parmi les organismes flagellés qu'on a voulu faire rentrer dans le règne végétal, il en est un grand nombre qui paraissent devoir être bien réellement considérés comme des animaux, à savoir tous ceux qui possèdent une vésicule contractile semblable à celle des Infusoires ciliés et des Rhizopodes amœbéens. Tels sont, par exemple, les Volvox, les Gonium, les Chlamydomonas, les

(1) Nous remarquons en passant que, chez les Algues soumises à la conjugaison, comme les Zygnémées, les Desmidiées et les Diatomées, on n'a pas plus reconnu de différences sexuelles entre les individus conjugués que chez les Infusoires ciliés ou les Rhizopodes, et que cependant leur conjugaison paraît être indispensable à la propagation de l'espèce.

Euglènes, les Dinobryon, les Cercomonas, les Heteromita, les Monades proprement dites, etc., etc.

2° On trouve chez les Infusoires ciliés et chez certains Rhizopodes deux grands modes de reproduction :

A. Division spontanée, dans laquelle on peut distinguer deux sous-variétés :
a. *Fissiparité* soit longitudinale, soit transversale ou oblique, constatée chez les Infusoires ciliés et quelques Rhizopodes, et donnant lieu d'ordinaire à des individus semblables au parent, ou bien parfois (*Acineta mystacina*, *Podophrya fixa*, *Urnula Epistylidis*) à deux individus, dont l'un est provisoirement différent du parent.
b. *Gemmiparité* externe, constatée chez les Vorticellines et les Acinétiniens.

B. Production d'embryons internes. Ces embryons sont toujours formés *par* ou *dans* l'organe connu sous le nom de *nucléus*, organe qui est par conséquent un véritable *embryogène*. Dans une seule et même espèce, ces embryons peuvent être tantôt gros et en fort petit nombre, tantôt nombreux, et alors ils sont fort petits.

3° L'existence d'une conjugaison ou zygose entre deux ou plusieurs individus a été constatée chez les Actinophrys (peut-être aussi les Difflugies), les Acinétiniens, les Vorticelles, les *Carchesium* et les Épistylis. Il est permis de supposer que ce phénomène jouit d'une certaine généralité chez les Infusoires, mais il ne nous a pas été permis de découvrir avec certitude ses véritables relations avec la génération.

4° On peut admettre chez les Infusoires ciliés et certains Rhizopodes des cycles générateurs, unis ensemble par des générations de transition, cycles analogues à l'alternance de génération, qui a été décrite chez certaines Algues par MM. Nægeli et Alex. Braun, et qui se retrouve également chez beaucoup d'Infusoires flagellés.

5° L'existence d'une génération alternante dans le sens de M. Steenstrup, c'est-à-dire l'alternance de générations sexuées et de générations asexuées, n'a pas jusqu'ici été constatée avec certitude chez les Infusoires ciliés, ni les Rhizopodes.

6° Il n'est pas improbable que la découverte de différences sexuelles chez les Infusoires et les Rhizopodes ne vienne ramener un jour les cycles mentionnés plus haut à une véritable génération alternante dans le sens de M. Steenstrup.

Telle est la substance de notre travail, tel qu'il a été adressé à l'Académie des sciences vers la fin de l'année 1855. Durant le cours de l'année 1856, nous fîmes diverses observations, qui semblaient venir donner plus de corps à l'opinion, que des différences sexuelles finiraient par être constatées chez les Infusoires. Au printemps de l'année 1857, nous envoyâmes à ce sujet, à la commission chargée de l'examen de ce mémoire, une note supplémentaire, dont nous faisons suivre l'extrait.

Certains faits, observés durant le cours de l'année 1856, semblent permettre de supposer que, dans de certaines circonstances du moins, des organes mâles apparaissent chez les Infusoires.

Ce fut d'abord chez les *Stentor* que nous trouvâmes de longs filaments mobiles, enfermés en grand nombre dans une cavité spéciale, au milieu du contenu de la cavité générale du corps. Ces filaments rappelaient par leur forme certains longs Vibrions, ou, si l'on aime mieux, les zoospermes filiformes de beaucoup de Mollusques. Il se pouvait naturellement fort bien que ces filaments eussent été avalés par le *Stentor*, ou que ce fussent des parasites. Diverses circonstances parlaient contre la première de ces possibilités : nous ne citerons ici que ce fait, que les mouvements ne cessaient point quelque long temps qu'on les observât, mais qu'ils cessaient immédiatement, lorsque, par suite de l'écrasement du *Stentor*, les filaments arrivaient en contact avec l'eau extérieure. Il y avait par contre une plus grande probabilité que ce fussent là des parasites.

Peu après notre attention fut attirée par d'autres filaments, observés dans le *Chilodon cucullulus*. Cette fois-ci, ils paraissaient appartenir à l'animal lui-même, car ils étaient logés dans le nucléus. C'étaient de petits bâtonnets immobiles, droits et éparpillés en sens divers.

Durant le cours de l'été 1854, M. Johannes Müller, qui ignorait nos observations sur ce sujet, trouva des bâtonnets analogues dans le nucléus du *Paramecium Aurelia* (1), et nous communiqua sa

(1) Voy. *Monatsbericht der k. preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.* Sitzung des 10^ten Juli 1856.

découverte. Nous ne tardâmes pas, ainsi que notre ami M. Lieberkühn qui connaissait, du reste, depuis longtemps des faits analogues chez d'autres espèces, à en reconnaître toute l'exactitude. Depuis lors, nous avons à diverses reprises, soit durant l'été et l'automne 1856, soit au printemps de 1857, trouvé des *Paramecium*, dont le nucléus renfermait les bâtonnets en question. Dans certains cas, M. Lieberkühn observa les bâtonnets non pas dans le nucléus lui-même, mais dans le nucléole seulement. Une des figures que nous avons communiquées à l'Académie peut aussi être interprétée de cette manière ; toutefois, le plus souvent, les filaments ou bâtonnets remplissent le nucléus en entier. Parfois leur apparence est rigide; souvent ils sont ondulés, mais jamais nous ne les avons vus se mouvoir. Il est à noter qu'on rencontre des *Paramecium*, chez lesquels les filaments sont disposés tout à fait parallèlement les uns aux autres dans le nucléus, tandis que chez d'autres ils sont épars en tous sens dans cet organe, et que chez d'autres enfin une partie d'entre eux a quitté cet organe, et s'est répandue dans la cavité du corps. Nous avons vu une fois un amas de bâtonnets dans la partie tout à fait postérieure de cette dernière : une traînée de bâtonnets contournait l'œsophage, et mettait cet amas en communication directe avec le nucléus.

Tels sont les résultats principaux de nos recherches sur les bâtonnets ou filaments du nucléus des Infusoires. Ce serait un peu prématuré que de vouloir reconnaître dans ces corps baculiformes l'équivalent des zoospermes des autres animaux; il suffit d'attirer l'attention sur la possibilité de trouver une analogie entre eux. Nous savons que le nucléus des Infusoires joue un rôle important dans les fonctions de la reproduction. Dans l'état ordinaire, c'est un embryogène. Mais supposé que, dans certaines circonstances, des individus sexués apparaissent, comme cela a lieu chez les Rotateurs par exemple, il est possible que cet organe prenne alors une autre signification, et qu'il joue chez certains individus le rôle de testicule, et chez d'autres celui d'ovaire. Toutefois, ce sujet touche de trop près à l'hypothèse pour que nous nous y arrêtions davantage.

---

# DU CERVEAU DES DYTISQUES

CONSIDÉRÉ

## DANS SES RAPPORTS AVEC LA LOCOMOTION,

**Par M. le Dr Ernest FAIVRE.**

L'idée qui nous a conduit à entreprendre des recherches physiologiques sur le système nerveux des animaux inférieurs a sa source tout à la fois dans les données les plus rigoureuses de l'expérience, et dans les vues les plus légitimes de l'esprit.

A l'aspect de cette régularité, suivant laquelle la série des animaux se développe, de ces lois si constantes, d'après lesquelles sont établis, dans une longue suite d'êtres, les appareils, les organes, les tissus et les éléments, on ne peut s'empêcher de croire que les fonctions ne soient dans une harmonie, dans un enchaînement aussi complet.

Il est naturel de chercher si la physiologie comparée des animaux inférieurs ne pourrait pas jeter quelques lumières sur les lois de l'organisation humaine. Chez l'homme tout est complexe ; dans cette variété infinie qui se confond dans une unité profonde, on ne peut toucher à une fonction sans apporter du trouble dans les autres, et l'analyse physiologique présente les plus inextricables difficultés.

Chez les animaux dégradés, l'unité et la variété sont moindres ; l'harmonie par conséquent est plus difficilement détruite. Les vivisections se présentent donc sous des conditions plus favorables.

Chez l'homme et les animaux élevés, chaque fonction s'accomplit par des actes multipliés, et souvent les plus secondaires masquent ceux dont l'importance est la plus grande.

Chez les animaux dégradés, les actes principaux persistent seuls, et l'on conçoit qu'il ne puisse plus rien rester de la fonction que les caractères qui lui sont essentiels.

Nous savons qu'en raisonnant ainsi nous faisons des hypothèses ; mais, avec ces hypothèses provisoires qui nous servent de

guide, nous pourrons du moins instituer des expériences, limiter notre sujet, et poser à la nature les questions que nous voulons résoudre.

L'homme qui fait les hypothèses ne pèche pas contre la logique; mais celui-là seulement qui, les prenant pour la vérité, veut absolument les démontrer, et reste sourd à la réalité expérimentale. Il faut se servir des hypothèses pour préparer les expériences ; elles ne sauraient subsister dès que l'expérience a prononcé.

Le présent mémoire et ceux qui le suivront ne sont qu'une première application de nos idées générales.

Nous y traitons du système nerveux, et en particulier du cerveau des Dytisques considéré au point de vue anatomique et physiologique. Nous nous occuperons plus tard des rapports et des différences avec le système nerveux des animaux élevés.

Nous n'avons et ne pouvons avoir maintenant d'autres prétentions que celle d'arriver à des faits certains, démontrés par des expériences rigoureuses.

Ces expériences sont d'une extrême difficulté ; et pour que les résultats qu'elles produisent soient constants, il faut se mettre à l'abri d'une infinité de causes d'erreurs mal connues, parce qu'on n'a guère pratiqué qu'arbitrairement des vivisections sur les insectes et les autres Invertébrés.

Nous allons passer en revue ces diverses causes d'erreurs, et faire connaître les moyens qu'il nous a paru nécessaire d'employer, afin de les éviter.

*A*. Il faut en premier lieu opérer sur des animaux placés dans les mêmes conditions. Ainsi les Dytisques, que nous avons pris en même temps, étaient déposés dans les mêmes vases, à la même température et dans le même lieu. Nous leur donnions pour nourriture des Hydrophiles vivants, qu'ils dévoraient avec voracité, et nous avions soin de renouveler l'eau des vases tous les quatre ou cinq jours. Ces précautions étaient toujours prises avant les opération

*B*. La cause d'erreur la plus constante et la plus difficile à éviter tient au mécanisme de l'opération elle-même. Si nous enlevons le cerveau, sommes-nous assuré de l'enlever tout entier, ou de n'en

enlever que la même quantité sur plusieurs animaux auxquels nous faisons subir la même opération ? Si nous lésons un pédoncule, le léserons-nous toujours au même point sans toucher aux parties voisines?

Pour parvenir à des procédés opératoires aussi exacts que possible, nous avons employé divers moyens. En premier lieu, nous avons fait l'anatomie des régions sur lesquelles nous opérions. Cette étude nous a fourni des points de repère et des rapports exacts.

On trouvera plus loin les détails minutieux de cette anatomie chirurgicale.

En second lieu, nous avons fait disposer des loupes grossissantes et des instruments en rapport avec la forme, la délicatesse et l'exiguïté des parties.

*C.* Une fois l'expérience faite, d'après les indications exactes de l'anatomie, nous avions à en observer les résultats. Il fallait séparer les phénomènes fixes d'avec les phénomènes variables, et ne pas confondre les effets directs avec les effets indirects.

Nous avons observé trois conditions fondamentales dans la théorie des expériences. Ainsi nous avons fait, autant que possible, des expériences comparatives, des expériences contradictoires et des expériences variées.

Depuis longtemps, on a entrepris des études sur la physiologie du cerveau des Insectes. Il fallait en tenir compte, afin de ne pas répéter ce qui avait été dit par d'autres, et pour établir les résultats nouveaux auxquels les expériences nous avaient conduits.

Nous avons en conséquence consulté l'histoire de la science ; nous y avons trouvé beaucoup de faits particuliers, mais peu de résultats généraux, beaucoup d'expériences accidentelles, mais point de travaux d'ensemble.

Voici d'ailleurs l'analyse très sommaire des faits qui sont à notre connaissance :

Tréviranus a fait de nombreuses expériences, dans le but de savoir s'il existait chez les Insectes un centre prépondérant, qu'on eût le droit d'appeler *cerveau*. Ainsi il enleva à plusieurs Insectes, et notamment à un *Orgya pudibunda*, la moitié gauche du gan-

glion sus-œsophagien, et il vit l'animal tourner à droite, en décrivant des cercles avec rapidité (1).

Une *Œschna forcipata*, à laquelle il avait coupé la tête, vécut quatre jours.

Burmeister a enlevé à des Dytisques le ganglion sus-œsophagien. L'animal était privé de mouvement, et il restait comme mort; cependant il pouvait nager avec rapidité et agiter très activement ses membres s'il était placé sur le dos (2).

Rengger a fait, comme Burmeister, une foule d'expériences destinées à étudier l'indépendance relative des divers ganglions chez les Insectes (3).

Ces expériences s'éloignant du sujet de ce mémoire, nous ne les reproduirons pas ici.

Les expériences de MM. Dugès, Walckenaer et Dujardin, ne sont pas non plus très bien en rapport avec notre sujet. En effet, ces auteurs ont cherché si, malgré l'ablation de la tête, les Insectes ne pouvaient pas accomplir certains actes témoignant d'une manifestation d'intelligence, tandis que nous avons voulu analyser expérimentalement dans ce mémoire l'influence des ganglions sus- et sous-œsophagiens sur la locomotion des Dytisques.

M. Walckenaer a vu qu'une Cerceris, décapitée à l'instant où elle voulait pénétrer dans le trou d'une Abeille solitaire, marchait à reculons. M. Dujardin rapporte qu'un petit Diptère, aussi décapité depuis quatre à cinq heures, s'élançait à la distance d'un demi-mètre toutes les fois qu'on le touchait (4); Dugès écrit qu'en enlevant le prothorax de la *Mantis religiosa*, le tronçon postérieur reste appuyé sur ses quatre pattes, qu'il prend son équilibre, et témoigne d'un vif sentiment de colère. Il établit que le seul ganglion thoracique sent, reconnaît, veut et dirige les membres qu'il anime (5).

(1) Tréviranus. *Das organische Leben*, t. II, part. 1, p. 192.

(2) *Handbuch der Entomologie*, t. II, § 274. Berlin, 1832.

(3) *Physiologische Untersuchungen*, et Lacordaire, *Introduction à l'Entomologie*, t. II, p. 190 et suiv.

(4) *Ann. des sc. natur.*, 3e sér., t. XIV (1850), p. 196.

(5) Dugès. *Physiologie comparée*, t. I, p. 79, etc. Montpellier, 1838.

Nous ne voyons pas que Dugès ait fait aucune ablation directe soit du ganglion supérieur, soit du ganglion sous-œsophagien.

Il n'en est pas de même de M. Yersin, professeur à Morges, lequel vient de publier le résultat de recherches récentes sur les fonctions du système nerveux des Insectes orthoptères. Ces recherches sont beaucoup plus complètes que celles qui avaient été entreprises jusqu'alors (1).

Il a reconnu qu'une lésion du ganglion sus-œsophagien est presque toujours suivie d'une absence d'équilibre dans les mouvements, et que l'Insecte décrit des cercles du côté lésé au côté intact. Il ajoute que le point du ganglion lésé ne paraît pas être en rapport constant avec le sens de la rotation ; et, dans ces cas, l'animal est plus ou moins couché sur un de ses flancs.

M. Yersin a encore constaté que la volonté peut être affectée et troublée comme les mouvements; ainsi, en piquant le ganglion sus-œsophagien d'un Grillon, il peut arriver qu'il morde à un morceau de pain et s'y attache avec avidité, sans que les pattes cessent de se mouvoir et de le pousser fatalement en avant.

Nous ne voyons pas que M. Yersin ait coupé les pédoncules, et qu'il se soit occupé du ganglion sous-œsophagien.

Nous venons de présenter une très brève et très insuffisante analyse des résultats obtenus par les auteurs qui se sont occupés des fonctions du cerveau de l'Insecte. Aucun n'a fait cette étude d'une manière méthodique, ni complète ; aussi les résultats obtenus jusqu'ici n'ont-ils pas beaucoup avancé la solution du problème.

Nous nous sommes proposé de reprendre la question et d'en faire l'objet d'une étude approfondie ; il nous a paru nécessaire de n'étudier qu'un seul Insecte à la fois, et indispensable de faire concourir à notre but tous les genres d'investigation.

Voici le plan que nous avons adopté. Nous avons considéré le cerveau :

1° Comme organe centralisateur, dans ses rapports avec les mouvements et la sensibilité générale ;

2° Comme centre spécial et principe du mouvement et du sentiment d'un certain nombre de paires nerveuses.

(1) Cons. *Bulletin de la Société Vaudoise des sc. nat.*, t. V, p. 119, déc. 1856.

Nous nous sommes proposé de rechercher comment les études histologiques confirment ou infirment les données de la physiologie expérimentale.

Plus tard, nous poursuivrons, autant qu'il nous sera possible, nos recherches sur les larves et les nymphes, et nous essayerons d'établir un parallèle entre le cerveau de l'Insecte et celui d'un Vertébré.

Dans ce mémoire, nous ne nous occuperons que des rapports du cerveau avec la locomotion du Dytisque.

Notre travail se divise en trois parties :

Dans la première, nous ferons connaître avec soin l'anatomie des régions de la tête du Dytisque ;

Dans la seconde, nous exposerons en détail les expériences diverses avec leurs résultats.

Et dans la troisième, nous résumerons nos recherches en mettant en lumière les conséquences les plus intéressantes.

### 1° Considérations anatomiques.

Nous ferons précéder l'exposé de nos observations d'une esquisse rapide de l'anatomie de la tête du Dytisque. On comprend combien il est indispensable, avant d'opérer l'Insecte vivant, de connaître, avec une minutieuse exactitude, la position, la forme, le volume, et, avant tout, les rapports des parties qu'il est nécessaire de respecter ou de léser.

Nous présenterons donc quelques considérations sur la tête et spécialement sur le crâne du Dytisque, envisagé au point de vue de l'anatomie chirurgicale.

1° *Parties extérieures du crâne.* — On peut y distinguer six régions : une supérieure, une inférieure, deux externes, une antérieure et une postérieure.

*A.* La région supérieure appartenant au crâne est formée :

1° De l'épistome, pièce allongée transversalement, donnant attache en avant au labre, et se continuant en arrière avec le front ; il est coloré en jaune clair ;

2° Du front, borné en avant par l'épistome, en arrière par le vertex, et latéralement par les yeux ;

3° Du vertex, au milieu duquel se dessine presque toujours une tache jaune triangulaire ;

4° Et de l'occiput, partie très lisse, qui s'articule avec le thorax.

*B.* La région inférieure est formée : 1° d'une pièce médiane allongée, qui porte le nom de *basilaire ;* elle touche en avant à la lèvre inférieure, en arrière à la cavité occipitale, et sur les côtés aux tempes et aux joues ; 2° des tempes et des joues dont nous allons parler.

*C.* Les régions latérales sont constituées : 1° par les joues, situées entre les yeux et la base des pièces buccales ; 2° par les yeux ; 3° par une petite pièce séparée des tempes au moyen d'un sillon, et que j'appelle *zygomatique ;* 4° par les tempes qui s'étendent du vertex et de l'occiput à la pièce basilaire.

*D.* La région antérieure présente une ouverture elliptique remplie par les appendices de la bouche.

*E.* La région postérieure, ou orifice occipital, donne passage à l'œsophage, aux trachées, au vaisseau dorsal, aux nerfs, enfin aux muscles qui meuvent la tête sur le prothorax. La partie basilaire, les tempes et l'occiput concourent par leurs bords à former cet orifice céphalo-thoracique.

2° *Parties intérieures du crâne.* — Pour bien voir ces parties, il faut enlever le frontal, le vertex, l'occiput et une partie des tempes.

Deux apophyses, qui s'élèvent perpendiculairement des sutures temporo-basilaires, divisent l'intérieur du crâne en trois loges, dont une médiane et les deux autres latérales.

*F. Loge médiane.* — Elle est limitée en bas par la pièce basilaire, latéralement par les deux apophyses ou lames basilaires, qui n'atteignent que le tiers de la hauteur du crâne ; elle est très incomplétement fermée en haut par des lamelles qui s'étendent, comme un pont, d'une apophyse basilaire à l'autre. Ces lamelles sont au nombre de trois : une postérieure sur laquelle passe l'œsophage, tandis que sous elle est disposé le ganglion sous-œsophagien. Cette lamelle nous paraît essentiellement destinée à soustraire ce ganglion aux mouvements qui peuvent se produire dans l'œsophage. Les deux autres lamelles, qui sont antérieures, partent

chacune d'une apophyse basilaire ; elles sont aplaties et obliques de haut en bas et d'avant en arrière.

Sur leurs faces antérieures reposent les pédoncules cérébraux ; leurs bords internes sont séparés par une minime distance.

Pour plus de précision, nous appellerons la lamelle postérieure *ganglionnaire* et les deux autres *pédonculaires*.

En arrière, la loge médiane touche à l'ouverture occipitale, et est remplie de parties molles.

En avant, elle s'évase brusquement pour produire l'espace bucco-pharyngien. Nous insisterons sur cet espace, qu'on peut regarder comme une deuxième portion de la loge médiane.

Il est circonscrit par l'épistome et le front, les joues, une partie des tempes et la pièce basilaire.

Il est séparé incomplétement des loges latérales au moyen d'une disposition spéciale des lames basilaires. Celles-ci, en effet, se recourbent brusquement à leur angle antérieur, et émettent en dehors et un peu en bas une apophyse qui s'implante entre les joues et l'épistome, à peu près au niveau de l'origine de chaque antenne. Nous donnons à cette apophyse le nom d'*antennaire ;* nous ne créons pas cette dénomination par caprice, mais bien par nécessité, comme on le verra plus loin.

Quoi qu'il en soit, il y a au-dessus et au-dessous de l'apophyse antennaire deux espaces remplis, durant la vie, de parties molles, et établissant des communications entre la loge médiane et les loges latérales, entre la bouche et le crâne. Dans l'espace supérieur, se trouvent les muscles antennaires, ceux qui meuvent la lèvre supérieure des trachées, et surtout les trois paires nerveuses qui se distribuent aux antennes, au labre et aux mandibules. A la face interne de l'angle formé par les apophyses basilaires et antennaires, un peu en bas s'appuient les deux pédoncules cérébraux ; c'est en ce point qu'on peut en faire plus aisément la section.

Dans l'espace inférieur passent les tendons des muscles des mandibules des mâchoires et, plus en bas, de la lèvre inférieure : là aussi passent les nerfs de ces deux dernières parties.

*G. Loges latérales.* — Ce sont deux espaces irrégulièrement hémisphériques remplis de muscles, qui y prennent leur attache.

Les muscles mandibulaires très puissants occupent une partie de la zone supérieure et médiane ; ceux des mâchoires sont situés au-dessous et à la base de la loge. En arrière s'attachent, au pourtour du trou occipital, les divers muscles qui meuvent la tête sur le prothorax.

Nous croyons inutile d'entrer dans des détails plus minutieux sur cette région. Nous ajouterons seulement qu'elle comprend aussi les deux cavités orbitaires.

Ce n'est qu'après avoir établi exactement les résultats qui précèdent que nous avons pu procéder, avec une certitude plus rigoureuse, aux opérations sur les Insectes vivants. Nous allons décrire ces opérations en consignant, chemin faisant, de nouveaux détails anatomiques, qui, tout importants qu'ils sont, n'ont pu encore trouver place dans le cadre que nous nous sommes tracé.

Nos procédés diffèrent, selon que nous avons pour but de découvrir le cerveau supérieur, ou de mettre à nu le ganglion sous-œsophagien.

Pour découvrir le cerveau supérieur, nous implantons la pointe effilée d'un scalpel sur le milieu de la région occipitale en arrière du vertex : nous coupons l'occiput suivant une courbe, à concavité antérieure, qui se continue jusqu'aux tempes. Ce premier temps achevé, nous disposons le scalpel perpendiculairement à notre incision première, et parallèlement à la face supérieure du crâne. Nous enlevons alors une portion de la voûte crânienne qui s'étend jusqu'à l'épistome en avant et à l'arc sus-orbitaire sur les côtés. L'intérieur de la cavité crânienne est sous nos yeux, et il s'écoule de la plaie des gouttes de sang de couleur citrine. Le cerveau est caché sous une couche de trachées très abondantes, qu'il faut nécessairement enlever. On y arrive facilement à l'aide d'une aiguille un peu fine, et bientôt la face supérieure du cerveau est parfaitement visible.

Le cerveau du Dytisque se compose de deux lobes séparés par une commissure peu marquée. De l'extrémité externe de chaque lobe partent les nerfs optiques, très volumineux comparativement aux autres nerfs, et terminés par un renflement considérable.

Ce cerveau présente quatre faces et deux extrémités.

La face supérieure offre les deux saillies des lobes séparés par une étroite commissure ; elle est située à 1 millimètre 1/2 environ au-dessous du vertex, dont elle est séparée par un paquet de trachées. Un plan transversal, qui partirait de cette face, irait couper la boîte crânienne, en suivant une ligne de jonction entre les deux tiers antérieurs et le tiers postérieur de chaque orbite. Un instrument, qui suivrait cette direction rencontrerait donc, après avoir pénétré à 1 millimètre 1/2 au-dessous de la paroi crânienne, le diamètre de la face supérieure.

La face inférieure du cerveau présente, sur le milieu de chacune des loges, l'origine des pédoncules cérébraux. L'espace interpédonculaire constitue la moitié supérieure de l'anneau œsophagien, et embrasse par conséquent une partie de l'œsophage, ainsi que le nerf récurrent. L'angle externe, formé entre chaque pédoncule et le lobe dont il naît, renferme la portion la plus élevée de l'œsophage basilaire.

La face antérieure du cerveau est plus étroite que les faces supérieure et inférieure ; elle présente deux convexités latérales, séparées par une dépression qui répond à la commissure. C'est cette face qui donne naissance aux deux cordons originaires du nerf récurrent et, plus profondément à l'origine des connectifs, aux nerfs antennaires, labial supérieur et mandibulaire ; leur point d'émergence correspond au sommet de l'angle formé par les apophyses basilaires et antennaires. Cette face antérieure est en rapport avec des trachées, et avec les muscles moteurs du labre et des antennes. A 2 millimètres en avant se voit le ganglion frontal, d'où naît le récurrent.

La face postérieure du cerveau n'a presque pas d'importance par ses rapports ; elle est entourée partout de trachées et de muscles.

Quant aux deux extrémités cérébrales, elles se continuent avec chacun des nerfs optiques.

Disons un mot sur les rapports des pédoncules : par leurs extrémités supérieure et inférieure, ils se confondent avec les ganglions sus- et sous-œsophagiens. Par leur face interne, ils contournent l'œsophage en forme d'un anneau ; cette face est appliquée contre la paroi de l'apophyse basilaire.

Le bord antérieur des pédoncules est oblique de haut en bas, et repose, d'avant en arrière, sur les lamelles pédonculaires. Leur bord postérieur, dirigé en bas et en avant, touche à des parties molles, et est un peu recouvert par la lamelle ganglionnaire.

Tous les rapports que nous venons de constater ont leur importance ; on le comprendra, lorsque nous décrirons successivement les opérations que nous avons faites.

Insistons maintenant sur les rapports du ganglion sous-œsophagien, et sur les moyens de le mettre à découvert, sans lésions graves, sur les Dytisques vivants.

Le ganglion sous-œsophagien est logé dans une espèce de boîte osseuse qui l'enferme et le protége d'une manière toute spéciale. Ce ganglion a deux grandes faces, l'une supérieure et l'autre inférieure. Il a quatre faces plus petites, à savoir : une antérieure, une postérieure et deux latérales.

La face supérieure repose sous l'œsophage, dont elle est séparée en partie par la lamelle ganglionnaire déjà décrite; et, en avant, elle se continue avec les pédoncules cérébraux.

La face inférieure est en rapport avec la pièce basilaire, dont elle est séparée par des muscles et des gros faisceaux de trachées.

La face antérieure, qui est très petite, donne naissance à deux paires de nerfs : les nerfs labiaux et les nerfs maxillaires. Elle est recouverte par les muscles de la lèvre inférieure.

La face postérieure se continue avec les deux connectifs qui vont se rendre au ganglion prothoracique.

Les deux faces latérales, qui sont étroites, reposent sur le bord interne des apophyses basilaires.

Le ganglion sous-œsophagien n'est pas fixé d'une manière immobile dans la position que nous venons de déterminer. En renversant fortement en haut la tête de l'Insecte, ce ganglion s'abaisse et se rapproche de plus d'un demi-millimètre de l'anneau occipital. Nous avons utilisé cette disposition.

Dans quel point précis faudrait-il piquer la face inférieure du crâne pour atteindre sûrement la face inférieure du ganglion sous-œsophagien?

A l'état normal, lorsqu'on ne fléchit pas la tête de l'Insecte, un

plan, qui passe à 2 millimètres de l'origine intracrânienne des deux sutures temporo-jugales, coupe, vers son tiers antérieur, la surface du ganglion. Mais si la tête est fléchie, il faut faire l'incision un peu au-dessous du milieu du décimètre antéro-postérieur de la pièce basilaire.

Ces indications suffisent pour apprécier le procédé opératoire que nous employons lorsqu'il s'agit d'enlever entièrement le ganglion sous-œsophagien, ou de ne le léser que partiellement.

L'Insecte étant placé sur le dos, la tête est fléchie lentement et fortement en arrière, de manière à tendre la membrane résistante qui joint le crâne au sternum prothoracique. Nous pratiquons alors une incision qui sépare cette membrane du pourtour du trou occipital; du sang s'écoule, et les connectifs de la première paire paraissent immédiatement au fond de la plaie.

Nous faisons ensuite sauter cette pièce avec un scalpel fin placé parallèlement à la pièce basilaire, en prenant la précaution de refouler en même temps la tête sur le thorax, de manière à éviter les tractions sur les nerfs.

La pièce basilaire enlevée, elle nous laisse voir au fond de la loge le ganglion, entouré de trachées blanches et de muscles, sur les côtés seulement. A l'aide de la pointe d'une aiguille, on enlève les trachées principales, et le ganglion est nettement mis en évidence.

Cette petite opération est moins simple qu'elle ne le paraît; elle exige une dextérité, une précision et des ménagements que l'habitude seule peut donner.

Nous ne parlons pas encore des opérations partielles pratiquées sur les nerfs du ganglion sous-œsophagien; il en sera question dans la suite.

Avant de commencer ces expériences, nous avons voulu nous rendre compte de l'influence que les lésions auxquelles l'opération donne lieu peuvent avoir sur les animaux.

Toute vivisection amène nécessairement des désordres, des perturbations, qui compliquent les résultats qu'on veut obtenir, et deviennent une des causes d'erreur les plus redoutables pour les physiologistes.

Pour nous mettre en garde contre ces erreurs, nous avons fait des expériences comparatives et préalables.

Chez plusieurs Dytisques mâles et femelles, nous avons enlevé l'épicrâne et mis à découvert le cerveau, sans pratiquer d'ailleurs aucune opération sur cet organe. Chez d'autres Dytisques, nous avons mis à découvert le ganglion sous-œsophagien.

Dans ces deux cas, les opérations ont été suivies d'hémorrhagies considérables, et les animaux n'ont pas survécu plus de quatre ou cinq jours.

Chez les Dytisques dont nous avions mis le cerveau à découvert, nous n'avons remarqué, pendant les premières heures, qu'un peu d'affaiblissement dans la marche et dans la nage; point de mouvements anormaux, ni de modifications dans la direction et la coordination des mouvements.

Mais, après trente heures, l'eau dans laquelle les Dytisques avaient été placés agissant sur le cerveau, de façon à en altérer profondément la substance, les Insectes ont présenté de nombreux phénomènes. Ils se sont comportés comme ceux qui, dans d'autres expériences, avaient été privés de leurs lobes cérébraux. Ces mêmes phénomènes sont survenus, mais bien plus rapidement, chez les Dytisques dont on avait mis à nu le cerveau supérieur; nous en donnerons plus loin les détails.

Nous avons dû conclure de nos recherches préalables que les opérations nécessaires pour mettre à nu les ganglions cérébraux sus- ou sous-œsophagiens ont une gravité assez grande pour que l'animal n'y survive jamais.

Les conséquences de ces opérations sont les suivantes :

Dans une première période, les accidents consistent uniquement dans l'affaiblissement de l'Insecte.

Dans une seconde, la substance nerveuse des ganglions est graduellement altérée, et il en résulte des troubles semblables à ceux qu'on obtient par l'ablation directe soit du cerveau supérieur, soit du ganglion sous-œsophagien.

Ces observations préliminaires établies, nous entrons dans le détail des expériences.

## II. — Exposé des expériences.

### § Ier. — Expériences pratiquées sur le cerveau supérieur.

Nous avons cherché à analyser successivement les effets produits par l'ablation entière du cerveau, par l'ablation d'un seul lobe et par la piqûre des régions droites ou gauches.

*A*. Nous présentons d'abord les résultats de nos études sur l'ablation totale du cerveau.

Les expériences qui suivent donneront une idée de l'enchaînement des phénomènes, et offriront le tableau des perturbations que l'organisation des Insectes a éprouvée.

L'ablation du cerveau est toujours pratiquée de la manière suivante : Deux coups de ciseaux séparent, à droite et à gauche, chacun des lobes, du renflement optique qui lui fait suite ; deux autres sections détruisent la continuité du cerveau avec les pédoncules ; il ne reste plus qu'à couper rapidement les paires crâniennes antérieures, et le cerveau est enlevé.

Pour que les expériences fussent exactement comparables, il faudrait que les sections eussent toujours lieu précisément dans le même plan. Or il est impossible de remplir rigoureusement cette condition ; de là, dans les phénomènes, des modifications dont il faut savoir tenir compte.

Expérience première. — Le 15 novembre, j'enlève le cerveau à un Dytisque mâle ; l'animal reste d'abord quelques minutes immobile, puis il donne des signes d'une assez vive douleur ; bientôt après il marche avec une extrême difficulté, tantôt il avance, tantôt il recule, sans déviation ni à droite ni à gauche.

La natation est notablement plus aisée que la marche ; elle a lieu en avant, de manière que l'animal heurte sans cesse avec sa tête le même point de la paroi du vase. Les mouvements réflexes sont notablement diminués ; si l'on pince une des pattes, on n'obtient pas de convulsions.

Six heures après l'opération, la marche et la natation sont devenues presque impossibles. Le Dytisque fait néanmoins agir avec facilité ses pattes postérieures ; et si on les irrite, il se précipite

en avant comme au début de l'expérience ; les mouvements réflexes sont augmentés.

Le lendemain 16 novembre, la marche et la natation sont tout à fait impossibles ; les pattes natatoires se meuvent encore par instants ; les mouvements réflexes ne sont pas abolis ; ils sont accompagnés de quelques convulsions générales, et la mort survient vers les huit heures du soir.

EXPÉRIENCE DEUXIÈME. — *Ablation du cerveau pratiquée sur une femelle, le 15 novembre.* Après quelques signes de douleur et une immobilité de très courte durée, l'animal tourne à gauche. Cette rotation supposait, comme cela sera démontré plus loin, que j'avais enlevé trop de substance du côté droit. Je fais en conséquence une légère section du côté gauche, et, dès lors, l'animal ne se dirige plus qu'en avant. Les mouvements deviennent difficiles et la marche lente ; la natation reste au contraire très active, et l'animal se projette sans cesse en avant, sans déviation à droite ni à gauche. Point de convulsions, les mouvements réflexes étaient faibles. Le soir, ils sont devenus plus actifs ; l'animal peut à peine nager et marcher. La mort survient le lendemain matin 16.

Nous avons répété ces expériences sur une douzaine de Dytisques tant mâles que femelles. Il serait aussi fastidieux de les lire, qu'il serait inutile de les citer ; nous n'en constaterons donc que les résultats.

Pour interpréter sainement ces résultats, il faut bien distinguer ceux qui sont fixes et qui se reproduisent invariablement dans chaque expérience de ceux qui varient, et dont on ne saisit pas bien les rapports.

Dans toutes nos observations, nous avons toujours constaté les phénomènes suivants :

Après l'ablation du cerveau, la locomotion et la natation sont très affaiblies.

La natation est toujours beaucoup plus facile que la marche dans les premiers instants.

Si les sections sont faites d'une manière égale, l'animal se dirige toujours en avant.

En général, la mort survient, de vingt-quatre à trente-six heures après l'opération ; elle est précédée d'une abolition graduelle de tous les mouvements ; il ne se produit jamais de mouvement dans les ailes.

Tels sont les phénomènes fixes ; voici maintenant les phénomènes variables :

Au lieu de marcher en avant, il arrive parfois que l'Insecte, privé de ses deux lobes cérébraux, recule. C'est surtout au début des expériences que nous avons observé, dans certains cas, cette particularité dont nous ignorons encore la cause.

Quelquefois les Insectes sont pris, après l'ablation totale, de mouvements convulsifs ; les pattes s'étendent et se roidissent, et l'animal est soulevé à une certaine hauteur. On n'a qu'à pincer une patte pour produire à volonté les convulsions sur lesquelles nous aurons à revenir.

La durée de la survie après l'opération est très variable. La plupart des animaux succombent après trente heures ; quelques uns meurent presque instantanément ; nous en avons vu résister pendant cinq jours.

*B*. Examinons les conséquences de l'ablation de chacun des lobes cérébraux.

Pour pratiquer cette ablation, nous enlevons une portion de l'épicrâne, et nous ne découvrons que la moitié du cerveau sur laquelle il s'agit d'opérer. Nous faisons alors quatre sections avec des ciseaux fins : la première, sur la commissure pour séparer un des lobes de l'autre ; la seconde, à l'origine du nerf optique ; la troisième, à l'origine d'un pédoncule pour séparer ce pédoncule du lobe ; et la quatrième, en avant, sur la lamelle antennaire pour détruire la continuité des nerfs.

On se formera une idée de l'ensemble des résultats que nous avons obtenus en lisant les observations suivantes :

Le 16 décembre 1876, à trois heures, nous pratiquons l'ablation du lobe droit chez un mâle et une femelle. En plaçant les Insectes sur un plan bien uni, nous voyons que tous deux penchent légèrement à gauche, et qu'ils se dirigent lentement en sens inverse de la lésion, c'est-à-dire du côté gauche. Cette direction est

fatale. En vain nous les plaçons dans un autre sens, et nous faisons des tentatives pour les y retenir; ils rebroussent chemin, et se dirigent de nouveau à gauche.

Nous déposons alors nos Insectes opérés dans un vase rempli d'eau claire. A peine sentent-ils l'eau qui les supporte, qu'on les voit s'élancer avec une agilité extrême, et nager en même temps du côté gauche, c'est-à-dire du côté opposé à la lésion. Tandis que tout à l'heure ils marchaient avec peine, ils nagent maintenant avec la plus grande facilité, en décrivant à gauche des cercles sans fin.

Tels sont les premiers phénomènes qui nous frappent; ils ne sont accompagnés ni de mouvements convulsifs, ni de manifestations d'une vive douleur.

A huit heures du soir, les phénomènes se sont notablement modifiés.

Le mâle nage plus faiblement sans continuer à se diriger à gauche; parfois il se précipite en avant, et souvent il tourne à droite; il n'y a par conséquent plus rien de stable dans sa direction.

La marche est très affaiblie; elle se fait alternativement, à droite, en avant, ou à gauche.

Cette sorte d'indifférence pour la direction se remarque aussi en même temps chez la femelle, qui a conservé d'ailleurs une vivacité beaucoup plus grande dans sa marche et sa natation.

Le 17, lendemain de l'opération, à huit heures du matin, le mâle est très affaibli; il ne se meut plus que très difficilement, et il meurt vers midi.

La femelle, au contraire, continue à marcher, et surtout à nager en avant, rarement à gauche et souvent à droite. Ses mouvements réflexes sont très intenses; sa sensibilité est vive.

Nous venons de faire l'histoire très succincte de deux animaux auxquels le lobe droit a été enlevé. Les phénomènes que nous avons notés sont ceux qui se reproduisent presque constamment après la même opération.

Il est inutile de faire observer que ce n'est pas sur deux cas seuls que nous établissons des faits généraux, et que nous avons

fait sur plus de quarante Dytisques des expériences comparatives et confirmatives.

En enlevant le lobe cérébral gauche chez un bon nombre de Dytisques, nous avons observé que la marche est affaiblie parfois dans les premiers instants, mais que la nage est généralement facile. Les animaux se dirigent, pendant la première heure au moins, toujours du côté droit, c'est-à-dire du côté opposé à la lésion ; ils tournent dans ce sens en penchant sur les pattes du même côté.

En général, les phénomènes sont les mêmes que ceux qu'on observe sur les Dytisques auxquels on a enlevé le lobe droit ; seulement, et ceci est essentiel, la direction est inverse, et l'animal penche du côté gauche.

Cherchons à résumer davantage et à préciser les résultats de la lésion des lobes droit et gauche.

Le fait le plus important, déjà confirmé par quelques vagues recherches de Treviranus sur les Coléoptères, et de M. Yersin sur les Orthoptères, c'est le rapport des lobes cérébraux et de la direction chez les Insectes. Quoique nous soyons plus sérieusement attaché aux intérêts de la science qu'à de futiles questions de priorité, nous ne laisserons pas de faire remarquer en passant que nous avons fait nos découvertes dans l'ignorance complète de celles de nos devanciers.

Le fait général que nous avons observé peut s'énoncer ainsi : Toutes les fois qu'on enlève un des lobes cérébraux à un Dytisque, l'animal perd, pendant un certain temps, la propriété de se diriger du côté de la lésion ; il marche et nage sans cesse du côté intact, c'est-à-dire en sens inverse de la lésion. Les pattes correspondantes au côté lésé sont notablement affaiblies.

Si c'est le lobe droit qui a été enlevé, l'Insecte marche et nage à gauche ; si c'est, au contraire, le lobe gauche, il marche et nage à droite.

Cette proposition, assez générale, n'est cependant pas absolue ; ainsi quelques Insectes, dès qu'ils ont été opérés, tournent accidentellement du côté lésé, sans qu'on puisse en comprendre le motif ; mais ces faits ne sont qu'exceptionnels.

Pour expliquer la rotation du Dytisque en sens inverse de la lésion, il nous paraissait d'abord nécessaire d'admettre un entre-croisement nerveux; de cette manière, on comprenait qu'en supprimant le lobe droit, on devait affaiblir les pattes gauches, et que l'animal n'étant plus dirigé que par les membres droits en rapport avec le lobe sain, devait tourner dans le sens de l'impulsion de ces membres, c'est-à-dire à gauche.

D'après cette explication, on doit trouver que les pattes du côté opposé à la lésion sont plus affaiblies que celles du même côté ; et, en effet, presque toujours, on voit, après l'opération, à droite par exemple, l'Insecte pencher vers son côté gauche. Si l'opération a été faite sur le côté gauche, il penche vers le côté droit. Nous démontrerons plus loin que cette explication n'était nullement fondée.

On pourrait peut-être donner une autre explication du mouvement rotatoire ; on pourrait dire que, chez l'Insecte dépourvu d'un lobe cérébral, la vision n'existe que du côté opposé, et que l'Insecte se dirige en conséquence toujours d'après les impressions de l'œil sain qui lui reste.

Il est bien vrai que l'ablation d'un des lobes entraîne infailliblement la privation de la vue du même côté ; mais il n'est nullement prouvé que l'œil resté sain dirige l'animal.

Qu'on répète, comme nous l'avons fait, les ablations des lobes chez les Dytisques auxquels on a enlevé préalablement les deux yeux, on n'en verra pas moins se produire des mouvements rotatoires en sens inverse de la lésion.

Lorsque nous avons voulu étudier avec plus de soin les mouvements rotatoires, nous avons reconnu toutes les modifications qu'ils peuvent présenter, soit qu'on les étudie à leur début, soit qu'on les analyse, une ou plusieurs heures après l'opération.

Tantôt les animaux opérés décrivent toujours dans le même sens des circonférences à rayon très court ; tantôt ils se dirigent en avant, en inclinant sensiblement du côté intact. Cependant, dans la première demi-heure, et souvent dans la première heure qui suit la lésion, le mouvement de rotation est toujours parfaitement prononcé.

Si l'on continue à observer l'Insecte, on voit qu'en général la

direction primitive ne persiste pas, et qu'elle est remplacée par des directions tout à fait inverses. Il y a là des difficultés que nous avons mis tous nos soins à étudier et à éclaircir. Nous n'osons pas donner, comme bien absolue, la remarque qui va suivre : elle est cependant l'expression d'un grand nombre de faits, et mérite d'être prise en considération, surtout en vue de recherches ultérieures.

Soit une opération pratiquée sur le lobe gauche : après avoir nagé longtemps à droite, le Dytisque perd graduellement cette direction, et, après quelques heures, se dirige en avant,à la manière des Insectes auxquels on a enlevé la totalité du cerveau. Bientôt la direction change, et l'Insecte nage à gauche, c'est-à-dire du côté opposé. Enfin il n'est pas rare que l'Insecte n'affecte plus de direction précise, allant indifféremment à droite ou à gauche.

On s'explique jusqu'à un certain point ces modifications, en supposant que l'ablation d'un lobe a d'abord produit dans le lobe intact une espèce de surexcitation; que bientôt cette surexcitation a fait place à une inertie complète (l'Insecte se comporte alors comme s'il n'avait plus de cerveau ; et qu'enfin le lobe sain, revenu à un état moyen, supplée en quelque sorte le lobe enlevé. Nous jugerons ailleurs cette explication d'après des faits tirés de la physiologie des nerfs crâniens du Dytisque.

Une remarque très absolue que nous avons toujours faite est la suivante : Après l'ablation d'un des lobes, la marche des Dytisques est affaiblie et ralentie ; la natation est extrêmement facile ; la locomotion et la natation sont donc deux actes indépendants et inégalement en rapport avec le cerveau supérieur.

La natation paraît indépendante du centre nerveux ; la locomotion sur le sol y est très nettement subordonnée.

Nous verrons qu'il n'en est pas de même relativement au cerveau inférieur.

Les faits qui précèdent peuvent se résumer dans cette proposition simple et incontestable : Le cerveau supérieur ou ganglion sus-œsophagien préside à la direction des mouvements ; sous ce rapport il tient spécialement sous sa dépendance les deux premières paires de pattes ou pattes ambulatoires.

*C. Piqûres des lobes cérébraux.* — Ce ne sont là que des expé-

riences destinées à varier celles que nous avons déjà énumérées; les résultats ne diffèrent pas d'une manière bien sensible.

En général, la piqûre pratiquée, à l'aide d'une aiguille, sur un lobe, détermine la rotation en sens opposé. La marche est affaiblie, mais la natation conserve toute son intensité.

Quelquefois les Insectes continuent à nager pendant plusieurs heures dans le même sens; d'autres fois, ils changent assez souvent de direction après un temps très court.

Les Insectes, auxquels on a fait une piqûre à l'un des lobes, vivent généralement plus que ceux auxquels l'ablation a été faite. Ces résultats n'ont rien de surprenant.

Nous n'avons rien à ajouter aux détails dans lesquels nous sommes entré; ils résument l'ensemble de nos expériences sur le cerveau supérieur considéré dans ses rapports avec les mouvements généraux. Nous allons maintenant passer aux conséquences de la section de l'un des pédoncules cérébraux.

*D. Section des pédoncules cérébraux.* — Pour pratiquer cette section, nous ouvrons la boîte crânienne, et nous saisissons entre les deux branches d'un ciseau très effilé le pédoncule que nous voulons atteindre. Il faut avoir soin de diriger les ciseaux sous un des lobes, de haut en bas, et d'arrière en avant. Nos sections sont très étendues et détruisent parfois les nerfs des antennes du labre et des mandibules. Le hasard ou plutôt l'habitude joue, nous ne le dissimulons pas, un certain rôle dans cette opération, puisqu'il faut couper une partie qu'on ne voit pas. Mais on y arrive toujours, lorsqu'on opère d'après les indications d'une anatomie topographique exacte.

Nous avions bien pensé à mettre préalablement le pédoncule à découvert avant d'en faire la section, mais il faudrait, pour réussir, tirailler le cerveau, les nerfs, les pédoncules, et s'exposer à des complications d'où résulteraient de graves causes d'erreur.

Nous opérons donc rapidement, comme nous venons de l'indiquer, et nous obtenons, d'une manière générale, les résultats suivants :

Les Dytisques, mâles ou femelles, marchent plus difficilement, et tendent à se diriger du côté opposé à la lésion; nous disons

qu'ils ont cette tendance, parce que le mouvement rotatoire est souvent peu prononcé au début.

Mis dans l'eau, les Dytisques nagent avec la plus grande facilité et en sens inverse de la lésion, comme ceux auxquels on a enlevé un des lobes cérébraux. Généralement, cette direction se conserve tant que l'animal survit. Néanmoins, l'insecte se dirige, dans quelques cas, soit en avant, soit dans le sens du pédoncule lésé.

Si, d'après nos expériences, nous comparons la direction des Insectes privés d'un lobe cérébral et la direction de ceux auxquels on a coupé un pédoncule, nous voyons que, chez ces derniers, la rotation se fait moins fréquemment en sens inverse, du côté lésé, ou, en d'autres termes, que la volonté et la puissance de se diriger, tantôt à droite, tantôt à gauche, est plus persistante après la section d'un pédoncule qu'après l'ablation d'un lobe.

Après la section d'un pédoncule, les Insectes ne sont pas atteints de convulsions; ils survivent deux jours au plus.

Comme nous n'avons fait aucune remarque particulière sur les phénomènes consécutifs à la section d'un des pédoncules, nous n'insisterons pas davantage.

### § 2. — Expériences pratiquées sur le ganglion sous-œsophagien, ou cerveau inférieur.

Les expériences que nous avons pratiquées sur le ganglion se ramènent à deux séries.

Tantôt nous avons fait l'ablation complète du ganglion sous-œsophagien ; tantôt nous l'avons piqué ou détruit dans une partie de son étendue. On trouvera dans les premières pages de ce travail la description des procédés opératoires.

*A. Ablation complète du ganglion sous-œsophagien.* — Cette opération nous a donné des résultats d'une haute importance, que nous croyons nouveaux.

Au moment où on enlève le cerveau inférieur, les Insectes donnent les marques de la douleur la plus vive, ils agitent leurs pattes et cherchent à se dérober à la main.

Dès que l'opération est terminée, si on les met sur le sol, on

constate qu'ils sont dans l'impossibilité de marcher. Cette impossibilité de progression ne tient pas à la paralysie du mouvement de l'une ou l'autre patte, car chaque membre se meut spontanément et se retire si on le pince. Elle tient à ce que la puissance qui excite la locomotion, et coordonne tous les membres pour cette fin, est abolie.

Quand nous disons que l'Insecte ne marche pas, nous n'entendons pas dire qu'il soit sans mouvement. Loin de là, des mouvements spontanés se manifestent partout, les pattes natatoires et ambulatoires se meuvent et s'efforcent, si on peut le dire, de contribuer à la marche ; mais tous ses efforts sont vains, parce qu'ils ne sont pas coordonnés en vue d'un acte unique. L'animal s'agite, mais il ne se déplace pas ; il se meut, mais il ne marche pas. Si, parfois, les Insectes, auxquels on a enlevé le cerveau inférieur, se déplacent de quelques centimètres, c'est par un mouvement de recul que nous avons fréquemment observé. Les deux paires de pattes antérieures se roidissent, élèvent l'Insecte en haut et en arrière, et le font un peu reculer.

Si on pince l'Insecte privé de son cerveau inférieur, il éprouve une sensation qu'il traduit par un mouvement d'ensemble, tantôt à droite, tantôt à gauche. Toutes les pattes prennent part à ce mouvement. On voit alors clairement que l'opération n'a aboli ni la sensibilité ni le mouvement de chaque partie, ni les mouvements réflexes qui lient tous les appendices locomoteurs.

Si on met le Dytisque sur le dos, il ne peut plus ni se diriger à droite ou à gauche, ni se relever ; ses pattes s'agitent et sont étendues, mais il ne peut plus s'en servir.

Les Insectes changent de place plus facilement dans l'eau que sur le sol. Mais les perturbations qu'ils éprouvent dans la nage et dans la marche démontrent l'absence d'un principe coordonnateur et d'une puissance excitatrice. Si la patte natatoire gauche se meut, la droite reste immobile ; si celle-ci s'agite, l'autre, au contraire, ne se déplace pas. Quelquefois elles se dirigent dans un sens inverse.

En pinçant une de ces pattes, l'Insecte se déplace, mais il reprend bientôt son état d'inertie.

Tels sont les phénomènes que nous avons observé dans la première heure chez les Dytisques dépourvus de ganglion sous-œsophagien.

Analysons maintenant les phénomènes consécutifs :

Ils sont simples et assez semblables à ceux que présente un Dytisque auquel on a détaché la tête. Les animaux ne peuvent ni marcher ni nager, bien qu'ils exécutent des mouvements partiels et accidentels.

Les mouvements locaux continuent à s'exercer, les mouvements réflexes augmentent d'intensité dans quelques cas, et nous dirons ailleurs comment cette intensité devient manifeste.

Quelquefois des secousses brusques et convulsives se produisent dans les membres et persistent de dix à quinze minutes.

En général, l'Insecte survit de vingt-quatre à trente heures à l'ablation du ganglion sous-œsophagien.

*B. Lésion partielle du ganglion sous-œsophagien.* — Cette lésion consiste généralement en une piqûre ou en une section très limitée, pratiquée à l'aide d'un instrument fait exprès.

En règle générale, une piqûre faite à droite détermine la rotation de l'Insecte à gauche, et le corps de l'Insecte est penché très manifestement de ce côté.

Une piqûre faite à gauche détermine au contraire une rotation à droite, et l'animal penche du même côté.

Ces mouvements rotatoires sont circonscrits dans des limites beaucoup plus restreintes que ceux qu'on détermine à l'aide de l'ablation d'un des lobes, ce qui tient surtout à ce que toute lésion du ganglion sous-œsophagien entraîne un affaiblissement notable dans les pattes ambulatoires ; aussi la lésion pratiquée doit être très légère, si l'on veut obtenir un résultat marqué.

Le Dytisque opéré ainsi manifeste de vives douleurs, souvent accompagnées de mouvements comme tétaniques ; s'il marche difficilement, il nage avec une facilité bien plus grande, et toujours dans une direction inverse à la lésion.

Tels sont les phénomènes au début, mais ils changent après quelques heures.

La nage peut d'abord avoir lieu en tous sens ; bientôt après elle

se ralentit, et elle devient impossible ; la locomotion est également entravée de plus en plus. En définitive, l'Insecte, qui n'a perdu qu'une partie de son ganglion sous-œsophagien, est bientôt dans le même état que celui auquel on l'a enlevé entièrement.

Ainsi l'importance de ce centre nerveux est encore démontrée par la gravité des lésions qu'on y opère.

Si l'on pique un des lobes cérébraux, l'animal peut survivre fort longtemps, sans que les autres régions du cerveau paraissent atteintes.

Il en est autrement si l'on pique le ganglion sous-œsophagien ; bientôt ce ganglion tout entier cesse d'exercer ses fonctions.

Nous sommes arrivé à produire sur des Dytisques tous les effets de l'ablation entière du cerveau inférieur, sans cependant léser directement le centre nerveux.

Nous avons cherché quelle part il fallait faire aux lésions qu'on pratique nécessairement avant d'atteindre le ganglion placé sous l'œsophage; et nous nous sommes posé la question de savoir si ces lésions seules n'amèneraient pas de graves accidents, et si elles n'abrégeraient pas beaucoup la vie de l'animal.

Pour résoudre cette question, nous avons opéré plusieurs Dytisques, comme si nous avions voulu faire l'ablation de leur cerveau inférieur, mais sans cependant toucher à celui-ci ; nous les avons ensuite placés dans l'eau. Au bout de vingt-quatre heures, la plupart des Insectes se trouvaient déjà dans la presque impossibilité de nager. Si on les déposait sur le sol, ils s'élevaient sur leurs deux pattes antérieures, et exécutaient faiblement des mouvements de recul. En un mot, les Insectes étaient dans le même état que ceux auxquels nous venions de faire l'ablation du ganglion sous-œsophagien.

Dans tous ces cas, le cerveau inférieur en contact direct avec l'eau s'était promptement altéré, et avait cessé d'accomplir ses fonctions.

### III. — Considérations générales.

Nous avons exposé les faits dans tous leurs détails ; il ne nous

reste plus qu'à les interpréter, et à en tirer les conséquences les plus rigoureuses.

Nous avons dit que l'ablation ou la piqûre d'un des lobes, la section d'un des pédoncules et la lésion d'une partie latérale du ganglion sous-œsophagien, entraînaient la rotation du Dytisque en sens inverse de la lésion.

C'est dans chaque lobe cérébral que paraît résider cette puissance directrice. Mais comment l'expliquer? Comment peut-on concevoir que l'ablation d'un lobe produise la rotation en sens opposé? L'expérience seule pouvait nous conduire à une solution satisfaisante.

Voici les expériences que nous avons exécutées :

Sur trois Dytisques, nous coupons le connectif droit entre le mésothorax et le métathorax. Les deux pattes postérieures à la section sont immédiatement soustraites à l'influence de la volonté, et l'Insecte les traîne en marchant. Nous enlevons alors sur chaque Insecte le lobe cérébral du côté gauche, et nous voyons que, durant plusieurs heures, les trois Insectes se dirigent à droite. Mais comment se fait cette direction, puisque, chez les Insectes, les pattes droites sont complétement soustraites à l'influence du lobe persistant? Elle s'opère, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre, à l'aide des pattes gauches qui agissent de concert et d'ensemble pour repousser l'animal en sens inverse, c'est-à-dire à droite.

Nous prenons trois autres Dytisques, et nous leur enlevons le lobe gauche, mais après leur avoir préalablement coupé le connectif gauche, de telle sorte que les pattes gauches soient soustraites à l'influence cérébrale. Ces Dytisques se dirigent encore à droite, mais ils ne peuvent plus se servir de leurs pattes gauches. Ils s'accrochent donc avec leurs pattes droites pour attirer leur corps du côté du lobe cérébral resté sain.

Ainsi avec le seul lobe droit qui leur reste, les six Dytisques tournent toujours à droite en faisant usage : les uns de leurs pattes gauches pour se repousser, les autres de leurs pattes droites pour s'attirer.

Donc le lobe droit exerce une action directe, aussi bien sur les

membres du côté droit que sur ceux du côté gauche ; donc si l'on admet un entrecroisement, cet entrecroisement n'est que partiel. Il faut bien en conclure que les impressions parties d'un des lobes sont transmises en partie aux pattes du côté opposé, et en partie aux pattes du même côté.

On comprend ainsi les résultats de l'expérience qui consiste dans l'ablation d'un seul lobe.

L'animal tourne du côté du lobe restant par deux causes : la première, parce qu'il se repousse à l'aide des pattes du côté opposé ; et la seconde, parce qu'il s'attire du même côté à l'aide de ses pattes. La rotation dépend donc d'un ensemble d'action de toutes les pattes.

Pour mieux prouver encore la vérité des déductions précédentes, nous avons, après avoir enlevé des lobes gauches, coupé, sur deux Insectes, le connectif droit entre la tête et le prothorax, et sur deux autres les connectifs gauches dans la même région. Toutes les pattes d'un même côté ont été ainsi soustraites à l'influence cérébrale. Mais nous avons toujours obtenu les mêmes résultats, c'est-à-dire la rotation à droite, à l'aide de deux mécanismes différents. Remarquons seulement que, à cause de la gravité des lésions, la rotation était excessivement lente et difficile.

Les expériences qui précèdent ne nous révèlent pas seulement une puissance directrice exercée par chaque lobe cérébral sur les membres de chaque côté, mais encore elles nous indiquent une sorte de manifestation volontaire de la part de l'insecte. On lui paralyse les pattes droites, il se repousse à gauche ; si on lui paralyse les pattes gauches, il s'accroche avec ses pattes droites, et il attire son corps dans la direction qui lui est assignée.

Le Dytisque dispose tout et coordonne tout pour produire ses mouvements toujours dans le même sens.

Nous ignorons quelle sera la pensée des personnes qui voudront bien réfléchir sur les phénomènes qui précèdent ? Quant à nous, il nous semble difficile de ne pas admettre que chaque lobe cérébral ne soit le siége d'une double puissance : volonté et direction.

Nous n'avons pas parlé de la natation, dans ces dernières expériences. Nous dirons seulement qu'elle s'accomplit ordinairement

dans le même sens que la marche, mais d'après des procédés différents qu'il est bon d'analyser.

Si l'on place dans l'eau un Dytisque, auquel on a enlevé le lobe cérébral gauche et coupé un des connectifs du côté droit, on voit l'Insecte nager très facilement sur la droite ; il se sert à cet effet de la patte natatoire gauche et des deux pattes ambulatoires du même côté. La patte natatoire droite agit de concert avec la précédente, mais bien plus faiblement. Enfin les deux pattes ambulatoires de droite ne participent point à la locomotion.

En définitive, les pattes gauches, qui sont libres, sont toutes employées à la natation avec la patte natatoire de droite.

Soit maintenant un Dytisque auquel on a enlevé le lobe gauche et coupé le connectif gauche, l'Insecte a une tendance à tourner à droite, mais ce mouvement est difficile. En effet, la patte natatoire gauche, agent principal de ce mouvement, est directement soustraite à l'influence cérébrale ; néanmoins, elle se meut et concourt à la natation à droite.

Après quelques instants, on voit seulement la patte natatoire droite prendre le dessus, et l'Insecte tourne en sens inverse.

Le fait le plus général que nous ayons à signaler, c'est que, quel que soit le connectif coupé, si le lobe gauche a été enlevé, l'animal nage toujours vers la droite, en s'aidant à la fois de ses deux pattes natatoires. Ces pattes agissent inégalement suivant le connectif coupé.

Il reste démontré que le lobe cérébral a une influence certaine sur la natation, et que, cependant, ce mode de déplacement est beaucoup plus indépendant du cerveau que la locomotion proprement dite.

Dans tous ces cas de destruction totale ou partielle du cerveau, nous avons toujours fait cette remarque importante, que la natation persiste mieux que la marche, et qu'elle conserve plus d'énergie.

Nous allons maintenant résumer toutes les observations qui composent ce mémoire, et en formuler les résultats le plus clairement possible.

Un premier point bien établi, c'est que les ganglions sus- et

sous-œsophagiens, ainsi que les connectifs qui les lient, représentent une seule et même partie analogue à l'encéphale des animaux supérieurs. Ainsi, il serait inexact de ne considérer comme tel que le ganglion sus-œsophagien.

Plusieurs savants ont exprimé bien avant nous la même pensée. Ainsi Newport appelle cerveau le ganglion sus-œsophagien, et moelle allongée le ganglion sous-œsophagien (1), Siebold et Stannius adoptent à peu près la même manière de voir, car ils écrivent que le ganglion sus-œsophagien correspond au grand cerveau des Invertébrés, tandis que le sous-œsophagien peut se comparer au cervelet ou à la moelle allongée (2).

On voit que Newport et Siebold sont allés bien loin, en comparant le ganglion inférieur à une moelle allongée ou à un cervelet. Mais leur opinion n'a pas été, que nous sachions, appuyée sur des expériences décisives. Ces expériences, nous les avons établies, répétées et comparées minutieusement, et elles nous ont fourni les résultats suivants :

Le cerveau supérieur ou ganglion sus-œsophagien est le siége de la volition et de la direction des mouvements.

Le cerveau inférieur ou ganglion sous-œsophagien est le siége de la cause excitatrice et de la puissance coordinatrice.

On se souvient que M. Flourens, dans ses remarquables travaux sur les centres nerveux, a distingué, le premier, dans un mouvement voulu, trois phénomènes différents (3), à savoir : la volition du mouvement, la coordination des diverses parties concourant à ce mouvement, et l'excitation des contractions musculaires.

Chez l'Insecte, les mêmes actes paraissent nécessaires à la locomotion ; seulement l'analyse expérimentale conduit à les grouper de la manière suivante :

1° Volition et direction ;

2° Excitation et coordination.

(1) Voy. *Cyclopædia of Anatomy*, vol. II, p. 942. Art. Insecte.

(2) *Anat. comp.*, t. I, p. 553.

(3) Flourens et de Todd, *Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux*, p. 210.

La volition et la direction ont pour siége les lobes cérébraux; le siége de l'excitation et de la coordination est dans le ganglion sous-œsophagien.

Si on enlève le cerveau, l'Insecte cesse de se diriger à volonté, mais il nage et il marche.

Si c'est le ganglion sous-œsophagien qu'on enlève, l'Insecte est arrêté, il ne nage plus, il ne marche plus, bien qu'il puisse mouvoir encore toutes ses pattes.

Ces résultats sont faits pour étonner. Ils nous montrent la perfection dans les êtres les plus simples, et l'harmonie que la nature a si richement déployée en constituant, d'après les mêmes dessins, les animaux élevés et les animaux inférieurs.

Nous n'osons pas établir, dès maintenant, un parallèle entre le cerveau de l'Insecte et celui du Mammifère. Nous attendons que de nouvelles expériences nous en donnent le droit, en nous en fournissant les moyens. Cependant, les faits déjà connus nous permettent déjà d'indiquer plus d'un trait de ressemblance.

Si on enlève le cerveau du Mammifère, il peut encore marcher, mais il n'a plus la volonté de le faire. Quand on enlève le cerveau de l'Insecte, il peut encore marcher, mais il ne se dirige plus.

L'ablation du cervelet et la lésion de la moelle allongée anéantissent les mouvements chez les Mammifères.

L'ablation du ganglion sous-œsophagien détruit la locomotion des Insectes.

Ainsi les résultats que nous devons surtout aux travaux éminents de M. Flourens s'accordent déjà sur plus d'un point avec ceux que nos expériences sur les Insectes nous conduisent à formuler.

Toutefois, ne nous hâtons pas trop de généraliser et de conclure. Soyons prudents et attendons que de nouvelles observations rendent incontestables des analogies que nos expériences indiquent nettement.

---

# ÉTUDES

SUR

# LES GYMNODONTES

ET EN PARTICULIER

SUR LEUR OSTÉOLOGIE ET SUR LES INDICATIONS QU'ELLE PEUT FOURNIR POUR LEUR CLASSIFICATION,

**Par M. H. HOLLARD,**
Professeur à la Faculté des sciences de Poitiers.

## INTRODUCTION.

En poursuivant l'étude des groupes de Poissons que Cuvier réunissait sous le nom ordinique de *Plectognathes*, j'arrive à celui que notre grand zoologiste a institué sous la dénomination de famille des *Gymnodontes*. Cette fois ce n'est pas une monographie proprement dite que j'ai l'honneur de soumettre à l'Académie, comme je l'ai fait pour les Balistides et les Ostracionides. La monographie des Gymnodontes était l'objet d'un des derniers travaux de Bibron; la rédaction en était déjà très avancée, quand le savant et très regretté collaborateur de M. Duméril fut enlevé à la science. Le manuscrit de cet ouvrage est déposé à la bibliothèque du Muséum où chacun peut le consulter (1). Bien que cette circonstance, équivalente à une véritable publicité, m'eût permis de reprendre le même travail sur les matériaux classés et étiquetés par Bibron, je préfère, au lieu de recommencer et de compléter une œuvre de détermination et de description qui est encore bien récente, étudier les Gymnodontes à un point de vue qui sera moins celui de leur histoire particulière, que celui des questions plus générales qui peuvent profiter des indications que cette histoire nous fournit. Je chercherai dans l'organisation des Gymnodontes,

(1) M. Aug. Duméril en a inséré un extrait dans la *Revue de zoologie*, de M. Guérin-Méneville, 6e cahier de 1855.

et tout spécialement dans leur squelette, d'abord les caractères typiques qui les rattachent à d'autres groupes, et avant tout aux Sclérodermes, s'il est vrai qu'ils appartiennent de près à ceux-ci ; nous verrons ensuite par la même voie d'information quels types se dessinent au sein de cette famille, et si ce n'est qu'une famille ; nous apprécierons enfin par là une fois de plus le parti que la zoologie systématique et l'ichthyologie en particulier peuvent tirer de l'anatomie comparée, et surtout de l'ostéologie.

Tout le monde comprend aujourd'hui que la zoologie, loin de s'arrêter aux caractères superficiels, doit réunir toutes les indications qui nous révèlent la nature des animaux et leurs vrais rapports. Comme rien ne caractérise mieux la nature d'un être que son activité, les données de la physiologie devraient figurer ici en première ligne, si cela était toujours possible, et dans ce cas la génération nous donnerait immédiatement les espèces et les genres ; car, ainsi que l'a très bien établi M. Flourens, l'attribut le plus essentiel de l'espèce est la fécondité indéfinie ; l'attribut du genre, la fécondité limitée (1).

Après la physiologie de la génération, et en quelque sorte comme sa prolongation et son développement, vient l'embryogénie, qui nous fait assister à la détermination successive des types généraux, puis des types secondaires, tertiaires, etc. (2). Enfin l'anatomie des organismes, arrivés à leur état définitif, nous donne un ensemble complet de caractères analogiques et différentiels de tous les degrés.

Bien que l'appréciation de ces caractères soit souvent difficile, que leur valeur et leur signification puissent être comprises un peu diversement, et que les ressemblances ne décident pas toujours

(1) « L'espèce se caractérise par la fécondité continue, le genre par la fécondité bornée. » *Cour de physiologie comparée*, p. 6 ; voyez le développement de cette thèse dans les *Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. IX, p. 304 (1838).

(2) C'est ce qu'a très bien fait ressortir M. Milne Edwards dans un travail qui doit être lu et médité par toutes les personnes qui comprennent où est la question scientifique de la zoologie : *Introduction à la zoologie générale ou considérations sur les tendances de la nature dans la constitution du règne animal.* Paris, 1853.

des véritables affinités, l'anatomie comparée n'en est et n'en restera pas moins longtemps encore la source la plus générale d'informations dont le zoologie puisse disposer. C'est ici seulement que nous pouvons trouver ce que l'embryogénie nous refuse en ce moment pour un très grand nombre d'animaux, et ce qu'il ne faut pas se lasser de lui demander, les vrais types, dont nos groupes sont ou doivent être les représentants.

On a compris depuis longtemps l'importance que prend ici le squelette, en raison de ses relations avec les centres nerveux et l'ensemble de la vie de relation. Sans prétendre exclure de la caractéristique aucun organe, pas même le cœur dont M. J. Müller a su tirer parti, tout en en exagérant peut-être un peu la valeur dans ses études sur les Poissons ganoïdes, ce sont bien certainement les parties par lesquelles l'animal établit le plus directement ses rapports avec le monde extérieur, et exerce son activité la plus caractéristique, qui doivent être consultées les premières, quand il s'agit de déterminer des affinités, ou de mesurer des différences de nature.

Ici donc se placent en première ligne la peau avec ses productions protectrices, puis l'appareil locomoteur, représenté ainsi que les centres nerveux par le squelette.

L'ichthyologie n'a pas fait autre chose que de consulter ces deux appareils depuis qu'elle existe; seulement elle ne l'a fait un peu méthodiquement que depuis Artedi, et d'une manière un peu complète et fructueuse que depuis les grands travaux d'anatomie qui ont honoré notre siècle. En ce qui touche les productions de la peau, il suffit de citer tout le parti que M. Agassiz a su tirer de l'étude des écailles pour la classification des Poissons, et surtout pour l'établissement de son ordre des Ganoïdes, de ce type qu'il était réservé à la paléontologie de mettre en évidence, mais qui n'a peut-être trouvé jusqu'ici ni ses vraies limites, ni par conséquent sa meilleure définition.

Quant au squelette, l'ichthyologie systématique a commencé à en tirer parti, le jour où Pennant divisa les Poissons en osseux et en cartilagineux (1). Elle a fait un pas de plus dans cette voie avec

(1) *Zoologie britannique*, t. III.

l'excellent mémoire de G. Cuvier sur l'importance des os de la face, et plus spécialement de la mâchoire supérieure pour la classification des Poissons (1). Les travaux d'Étienne Geoffroy sur la signification homologique des os de la tête (2), ses anatomies du *Polyptère* et du *Tetrodon lineatus* (3) ; la publication des planches ichthyologiques de M. Rosenthal (4) ; les recherches de M. Müller sur la composition histologique des squelettes mous (5), ont de plus en plus préparé la détermination des types d'après le système solide. Enfin les travaux de M. Agassiz, dont je ne sépare pas ici ceux de M. Vogt, ont commencé cette détermination (6).

Nous devons donc, dans l'intérêt de la zoologie, comme pour venir en aide à la paléontologie, étudier avec soin et comparativement les types ostéologiques, auxquels se rallient les squelettes si diversifiés des Poissons, et parcourir l'échelle de ces types.

J'ai déjà abordé dans mes monographies des Balistides et des Ostracionides le travail dont je signale ici l'importance et l'opportunité. Je vais le poursuivre plus spécialement encore à propos du groupe des Gymnodontes ; je profiterai pour cela d'une petite collection de squelettes de Tétrodons et de Diodons, que Bibron avait fait préparer pour achever sa monographie, et que M. le professeur Aug. Duméril a bien voulu mettre à ma disposition.

Nous commencerons par rappeler les caractères de ces Poissons,

(1) *Mémoire du Muséum*, t. I^er^. Ce travail fut lu à l'Académie en 1814.

(2) 1807. *Ann. du Mus.*, t. IX, et 1818, *Philosophie anatomique*.

(3) Poissons du Nil dans le grand ouvrage sur l'Égypte, texte et planches.

(4) *Ichthyologische Tafeln*, et auparavant en 1811, un mémoire sur le squelette des poissons, inséré dans les *Archives de physiologie* de Reil.

(5) *Anat. des Myxinoïdes*, 1^re^ part. ostéologie ; publiées d'abord dans les *Mém. de l'Acad.* de Berlin, 1834, p. 157.

(6) *Rech. sur les poiss. fossiles*, t. I.

Voyez aussi le *Rapport fait à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, sur les poissons fossiles de l'argile de Londres* ; reproduit dans les *Annales des sciences naturelles*, 1845. L'auteur esquisse ici à grands traits les caractères de la tête osseuse dans quelques familles de la création actuelle, comme terme de comparaison pour déterminer les fossiles de Scheppy. — Ajoutez les observations dont M. Vogt a fait suivre le mémoire de M. Muller sur les Ganoïdes, traduit et inséré par lui dans les *Ann. des sc. nat.*, t. IV, p. 53, 1845.

et par donner quelques détails descriptifs sur leur organisation en général et sur les particularités les plus intéressantes qu'elle nous offre. Nous arriverons ainsi, et sans préjudice de l'ensemble, à l'ostéologie ; puis nous terminerons cette étude en indiquant les divisions et les subdivisions, que nous croyons devoir adopter ou proposer pour répartir et coordonner les espèces de cette grande famille.

## CHAPITRE Ier.

### CARACTÈRES ET DESCRIPTION GÉNÉRALE DES GYMNODONTES (1).

*Caractères :* Mâchoire en forme de bec de Perroquet, incrustées et bordées de productions éburnées, formant une armure dentaire plus ou moins continue et tranchante. — Peau défendue par des productions spinoïdes. — Fente branchiale courte. — Ventrales nulles ou réduites à leur pièce radicale. — Tous les rayons de la dorsale et de l'anale mous.

Les formes des Gymnodontes varient ; cependant elles se rapportent à deux types principaux : l'un caractérisé par une grande prédominance de la hauteur du corps sur sa largeur, l'autre par la presque égalité de ces deux dimensions.

Dans ce dernier cas, le corps est plus ou moins massif, surtout en avant, où le front se montre large, plat et horizontal, et le museau plus ou moins court et tronqué dans la plupart des cas. A partir de la fente branchiale, située assez en arrière, le tronc s'atténue rapidement, tout en conservant une largeur à peu près égale à sa hauteur. Mais ces formes subquadrilatères font place dans certains moments à une configuration sphéroïdale, qui résulte d'une sorte de tympanite que ces Gymnodontes se donnent à volonté en avalant de l'air. Leur peau, remarquable, dans l'état

(1) Ce groupe, composé en grande partie de ce que les zoologistes du XVIIe siècle nommaient *les Orbes* faisait partie des *Ostracions d'Artedi*. Linné créa pour eux ses genres *Diodon*, *Tetraodon* et *Orthagoriscus*. C'est G. Cuvier qui a réuni ces Poissons en une même famille sous le nom de *Gymnodontes*. M. Dumeril préfère le mot *Gymnognathes* qui indique la nudité des mâchoires au lieu de celle des dents, caractère normal de ces productions.

ordinaire, par la multitude de petites rides en forme de lignes courtes et saillantes qui la parcourent d'avant en arrière, se prête, à la faveur de cette disposition, à une tension considérable, et les épines qui en couvrent une partie, ou la totalité, se dressent alors, sortent des petites cavités, où leur petitesse leur permet quelquefois de se cacher dans l'état contracté du tégument, et hérissent le ballon que représente le Gymnodonte parvenu à son maximum de gonflement. Dans cet état, le Poisson culbute et flotte le ventre en l'air, et il est difficile et dangerereux même pour ses ennemis de le saisir, et d'en faire leur proie.

La peau, disons-nous, est le plus souvent armée de piquants; quelquefois elle est incrustée de petites plaques squamoïdes polygonales, analogues à celles des Ostracions, et couvertes de tubercules comme celles-ci; enfin je trouve des passages nuancés entre les épines les plus simples et ces plaques, c'est-à-dire que toutes les épines sont portées sur une base plus ou moins divisée, et que, s'il en est beaucoup chez lesquelles cette base soit réduite à des espèces de racines à deux ou trois branches étroites, il en est d'autres dont la partie radicale est plus étalée et plus continue; nous arrivons ainsi des Gymnodontes essentiellement épineux à ceux qui ont le corps en tout ou en partie défendu par des squames semblables souvent, comme je viens de le dire, à celles des Ostracions. Je crois que jusqu'ici on n'a pas assez pris garde à ce dernier trait d'affinité, et je crois qu'on peut concevoir les piquants des Gymnodontes comme résultant d'une modification semblable à celle qui convertit en pointes saillantes certaines plaques des Ostracionides qui deviennent ainsi des espèces d'épines, comme nous l'avons vu ailleurs. Il est cependant un cas, celui des Triodons, où l'écaillure s'éloigne des caractères précédents, et rappelle en partie celle des Triacanthes, en partie celle qui couvre le fanon de quelques Monacanthes, et qui elle-même n'est pas sans rapport avec les écailles des Poissons ordinaires.

La bouche est généralement terminale dans le groupe qui nous occupe. Presque toujours, elle est bordée de lèvres charnues, grosses, plissées, semées de cryptes mucipares. Ces lèvres couvrent deux mâchoires nues, indivises ou divisées sur la ligne mé-

diane, et dont le bord libre forme un crochet en avant, un tranchant sur le reste de son étendue, et semble d'abord dépourvu de toute armure dentaire. Mais cette réduction de la mâchoire à l'os lui-même n'est qu'apparente, et les productions dentaires ne manquent point ici ; seulement elles se présentent sous des formes et dans des conditions spéciales. Non-seulement elles arment constamment le bord tranchant de la mâchoire, mais elles garnissent plus ou moins les surfaces horizontales, très variables elles-mêmes, formées par le prémaxillaire et le maxillaire inférieur, en dedans et en arrière de leur bord tranchant.

Sur ces surfaces, on remarque un nombre variable de tubercules mousses, tantôt arrondis, tantôt disposés transversalement soit en lignes continues, soit en séries à éléments distincts. En un mot, il y a ici un véritable système dentaire complexe et varié, dont les différences pourront fournir de bons caractères pour la distinction des espèces et pour leur groupement. Je reviendrai tout à l'heure sur la structure de ces productions éburnées, et je me borne en ce moment à constater leur présence chez les Gymnodontes.

Les narines de ces Poissons ne s'annoncent quelquefois que par un ou deux orifices bordés ou non, et conduisant dans une cavité généralement peu profonde. Mais souvent la surface olfactive s'ouvre plus largement, se montre à découvert, et se prolonge au dehors par des languettes tentaculiformes détachées des bords de la dépression. Ces deux formes extrêmes se lient par des transitions nuancées, qui n'empêchent pas de trouver dans les différences que présentent les narines de bons caractères sinon génériques, comme le proposait Bibron, au moins spécifiques.

L'œil est placé généralement à fleur de tête, en raison de la forme aplatie du front. Cet organe demeure cependant toujours latéral, et il est ordinairement grand et bien abrité.

Les nageoires médianes des Gymnodontes rappellent le plus souvent celles des Ostracionides. A peu d'exceptions près, la dorsale et l'anale sont reportées très en arrière et courtes, mais parfois assez hautes. La caudale est médiocre, arrondie, quelquefois semi-lunaire ou bilobée. Dans les Orthagorisques, elle offre, comme

le corps entier, une forme et des dimensions particulières, que nous préciserons en parlant de ce groupe. Les pectorales sont plus ou moins reculées, comme la fente branchiale qu'elles suivent immédiatement, et nous en verrons la raison en traitant du squelette. Ces mêmes nageoires se développent plus en largeur qu'en longueur, quand elles dépassent la médiocrité de leurs dimensions ordinaires. Les ventrales manquent aux Gymnodontes comme aux Ostracionides. Dans les Triodons cependant, nous retrouverons un os pelvien.

## CHAPITRE II.

### DE L'ORGANISATION DES GYMNODONTES.

Nous avons vu que la peau généralement souple et extensible des Gymnodontes est quelquefois défendue par un revêtement de plaques squamoïdes, plus souvent encore par des piquants à base plus ou moins divisée en branches radicales. J'ai étudié avec soin la structure intime de ces épines, en choisissant celles des Diodons qui sont les plus développées, et j'ai reconnu sur leur coupe transversale, au centre, un canal médullaire plus ou moins vide, ou occupé par une substance spongieuse ; puis une succession de couches concentriques, à travers lesquelles rayonnent, avec une admirable régularité, des stries très fines et très rapprochées, qui semblent intercepter des fibres d'une extrême ténuite ; cette structure ressemble plutôt à celle de l'émail qu'à celle de la dentine. Les fibres périphériques s'élargissent, et atteignent 1/275 de millimètre d'épaisseur (1).

Dans un groupe tétrodonien, dont Bibron faisait son genre Éphippion, je rencontre de véritables plaques éburnées, couvertes de tubercules, et dont le tissu entier se compose d'une véritable dentine à canalicules rameux (2).

C'est encore de la dentine, et sans apparence d'émail, que nous rencontrons dans la composition de la matière qui remplace les dents proprement dites chez les Gymnodontes. Cette matière se

(1) Pl. 5, fig. 1, *b*.
(2) Pl. 5, fig. 3, *a*.

dispose en strates interrompues qui se superposent en grand nombre dans une sorte de sillon alvéolaire, dont les deux mâchoires sont creusées (1); elle fournit, en outre, des collections de dents palatines à divers états de développement, accumulées au-dessus de la voûte buccale sous la forme de nodules de diverses formes, et destinées à se remplacer successivement.

La cavité buccale des Gymnodontes est peu ou médiocrement ouverte en avant, un peu plus toutefois que celle des autres Plectognathes; peu dilatable aussi, en raison de la fixité des parois osseuses qui la limitent latéralement, elle se distingue néanmoins par une disposition anatomique qui ne me paraît pas avoir été signalée jusqu'ici, et que je crois destinée à l'aspiration de l'air dont ces Poissons se remplissent le corps. Ils ont une langue adhérente, charnue et volumineuse, mise en mouvement, c'est-à-dire énergiquement abaissée par deux gros muscles hyoglosses. Cette masse, ainsi déplacée, doit faire l'office d'un piston qui attire l'air dans l'espace qu'il agrandit, et, par son retour, l'oblige à passer plus loin.

Ét. Geoffroy Saint-Hilaire a parfaitement décrit le vaste sac prégastrique qui reçoit cet air, le rapprochement de ses deux orifices, sa ressemblance, quand il est vide, avec une sorte de tablier ou d'épiploon qui couvre tous les autres viscères, en y comprenant une vessie natatoire repliée sur elle-même, tournant en haut sa convexité, et sans communication avec l'œsophage. Je ne m'arrêterai pas ici à reproduire des détails de splanchnologie, ni même de myologie, qu'on peut lire ailleurs, et auxquels je n'aurais rien de plus intéressant à ajouter que ce que je viens de dire sur le développement remarquable de la masse linguale et des muscles hyoglosses, comme instruments principaux de l'aspiration et du refoulement de l'air dans la poche gastrique. Je passe donc à la partie de l'organisme des Gymnodontes qui m'a le plus particulièrement occupé, à leur squelette.

(1) Pl. 5, fig. 5.

### Du squelette des *Gymnodontes*.

Les Gymnodontes, comme les autres Plectognathes, ont été longtemps, et par une erreur singulière, considérés comme des Poissons à squelette imparfait et même cartilagineux ou semi-chondroïde. Ils appartiennent en réalité à la grande division des Poissons osseux, et cela sous le triple rapport du degré d'ossification qu'atteint leur système solide, de ses caractères histologiques, et enfin, comme nous le verrons tout à l'heure, du développement et des dispositions des pièces qui composent cet appareil.

L'ossification, l'incrustation calcaire, est, à la vérité, tardive et quelquefois imparfaite chez les Gymnodontes, et tel est surtout le cas des Orthagorisques ; mais le plus souvent, elle n'est en rien inférieure à celle des Téléostéens les mieux caractérisés sous ce rapport ; les Tétrodons ont un squelette aussi dur que les Perches. Quelles que soient, au reste, la densité et la dureté du squelette dans le groupe qui nous occupe, le tissu des pièces solides est constamment le tissu fibro-aréolaire qui caractérise les os proprement dits ; il offre, dis-je, la forme histologique la plus avancée, la forme textulaire définitive des squelettes osseux.

Ce second caractère nous donne la mesure du développement ostéogénique auquel arrivent les Gymnodontes, à l'instar des autres Plectognathes ; et nous pouvons prévoir, dès lors, que, chez eux, la détermination des pièces du squelette sera ce qu'elle est dans tous les Poissons osseux ; que nous ne verrons, ni dans la région rachidienne, des vertèbres incomplètes autour d'une corde dorsale persistante, ni à la tête une boîte protectrice indivise représentant la capsule cartilagineuse primitive ; que partout enfin va se dessiner nettement le type ostéologique général des Téléostéens de M. Müller. C'est ce qui ressortira, en effet, mais implicitement, de ce que nous allons dire de l'ostéologie des Gymnodontes, en la comparant surtout à celle des familles qu'on en a le plus rapprochées.

#### Colonne vertébrale.

Les vertèbres sont toujours en petit nombre dans le groupe qui

nous occupe, comme dans les Balistides et les Ostracionides. Je n'en trouve que de dix-sept à dix-neuf dans la plupart des Gymnodontes; M. Dareste nous en signale vingt dans les Triodons, et j'en compte, comme maximum, vingt-sept dans un type très particulier des Tétrodoniens, dont M. Bibron a fait son genre *Xenopterus*. Les différences portent essentiellement sur la région caudale. Le nombre des vertèbres du tronc n'excède jamais le chiffre *dix*, même dans le genre que je viens de nommer.

Les formes et le développement du système apophysaire des vertèbres nous offrent chez les Gymnodontes quelques traits ou caractéristiques, ou dignes d'être remarqués. A prendre l'ensemble de la colonne rachidienne, tout ce qu'on peut dire sous ce double rapport, c'est qu'elle ressemble plus à celle des Balistides qu'à celle des Ostracionides; c'est-à-dire que flexible, comme chez les premiers, elle est en général plus haute et plus comprimée que chez les seconds, dont les vertèbres troncales, soudées et immobiles, sont longues, et aussi larges que hautes.

Un contraste remarquable existe chez la plupart des Gymnodontes, entre un certain nombre de vertèbres antérieures et les vertèbres caudales; ce contraste résulte de deux modifications inverses qui intéressent avant tout les apophyses médianes.

Les types Tétrodoniens et Diodoniens, aussi bien que le genre *Orthagoriscus*, se caractérisent, en effet, par une sorte de dédoublement de leurs premières apophyses épineuses (1), quelquefois même de toutes celles qui précèdent la nageoire dorsale, tandis que les apophyses médianes caudales, et surtout celles des dernières vertèbres, conservant leur position normale, forment des lames indivises et comprimées qui offrent aux rayons de la nageoire terminale une ligne d'insertion plus ou moins étendue : les Gymnodontes ne le cèdent en rien non-seulement aux Balistes et aux Ostracions, mais aux Poissons osseux les plus complétement homocerques (ils en surpassent même un grand nombre), sous le rapport de l'aplatissement et de la symétrie verticale de leur dernière vertèbre (2).

(1) Pl. 5, fig. 6, 6 *a* et 11.
(2) Pl. 5, fig. 10.

Quant au dédoublement si remarquable et depuis longtemps signalé de leurs apophyses épineuses antérieures, on ne l'a pas toujours bien compris, et on l'a trop complétement assimilé au *spina bifida*. C'est bien un *spina bifida*, mais qui ne porte très certainement que sur les neurépines, et qui, quoiqu'on en ait dit encore assez récemment (1), laisse subsister l'anneau neural dans ses conditions d'arc protecteur de la moelle. Les squelettes très bien préparés que j'ai sous les yeux, et entre autres un squelette du *Diodon hystrix*, présentent, au fond du sillon plus ou moins large et plus ou moins prolongé qui résulte de l'écartement des lames apophysaires, un plancher osseux qui sert de plafond au canal rachidien, et qui offre même sur la ligne médiane, au lieu du vide qui devrait y exister, si les neurapophyses se trouvaient écartées l'une de l'autre, une ligne caréniforme plus ou moins élevée, quelquefois interrompue, et qui résulte de la rencontre et de l'adossement de ces mêmes neurapophyses. Ce qui peut expliquer l'erreur des personnes qui ont admis ici un plancher membraneux, et l'écart latéral de tous les éléments de l'arc supérieur, c'est que, sur quelques squelettes et sur quelques parties de cette espèce de toit plus ou moins élargi et horizontal, l'ossification laisse quelques lacunes. Mais on conçoit ce dernier fait; c'est une conséquence sinon nécessaire, du moins assez naturelle de l'extension latérale des neurapophyses, appelées à protéger un cordon médullaire, qui de son côté, et comme l'a remarqué M. Owen, est d'autant plus gros, qu'il est plus court. Or, dans cette application de la loi du balancement à la distribution de la matière osseuse, ce sont les parties les plus éloignées de la ligne médiane qui ont été sacrifiées, tandis que sur cette ligne l'ossification a surabondé. L'écartement des lames dédoublées de l'apophyse épineuse cesse par un rétrécissement graduel du sillon, et l'on voit même, chez les Tétrodons, ce dernier se fermer complétement à l'extrémité postérieure d'une vertèbre qui en est encore affectée à son début.

Je remarque chez les Gymnodontes, comme déjà chez les Ostracionides, un développement latéral de l'arc supérieur des

(1) M. Dareste, dans sa thèse pour le doctorat ès sciences, et *Ann. des sc. nat.*, 3e série, t. XIV.

vertèbres qui manque absolument aux Balistides, et qui est au moins très rare dans la longue série des Téléostéens : je veux parler des véritables apophyses transverses. Pour faire apprécier l'intérêt de ce fait déjà signalé par M. Dareste chez les Triodons, et que je retrouve à mon tour chez quelques Tétraodons, je dois rappeler ici la composition la plus générale du système apophysaire vertebral des Poissons, et les interprétations qu'on a données de quelques particularités, dont la première apparence dissimule un peu la vraie signification.

On sait que, dans la grande majorité des Poissons osseux, l'arc vertébral supérieur, sur une partie plus ou moins étendue de la région dorsale, et l'arc inférieur sous la région caudale, à partir du voisinage de l'anus, prennent un développement considérable dans le sens des nageoires médianes, tandis que la base de ces arcs, d'où procèdent ailleurs les apophyses transverses, ne fournit généralement ici que des articulaires. Mais en même temps nous rencontrons sur la partie de la colonne rachidienne qui correspond à la région viscérale, des apophyses latérales auxquelles s'attachent les côtes, et qui, situées d'abord assez haut sur le corps de leurs vertèbres respectives, descendent peu à peu, se dirigent d'avant en arrière et de haut en bas, arrivent enfin à la partie inférieure du corps vertébral, se rapprochent de la ligne médiane, et n'ont plus qu'à se réunir par leur extrémité ou par un pont à celle du côté opposé pour devenir de véritables apophyses hématales. Les apophyses plus ou moins divergentes de la région viscérale, et les apophyses médianes inférieures de la région caudale, ne forment, comme on le voit, qu'une seule et même série, et passent graduellement de leur position d'abord latérale, à la position caractéristique des hémapophyses. Quel nom faut-il donner à ces apophyses? A quel élément vertébral appartiennent-elles?

G. Cuvier, et après lui Meckel, s'attachant aux premiers caractères de position et de direction de cette série, voient ici purement et simplement des apophyses transverses, qui se convertissent au voisinage de l'anus en apophyses épineuses inférieures (1), quel-

(1) Meckel, *Anat. comp.*, trad. franç., t. II, p. 293 et 318. — Cuvier, *Anat. comp.*, 2e édit., t. I, p. 224, s'exprime comme suit : « A l'arrière de

quefois par une sorte de dédoublement. A cette détermination toute nominale, et qui ne dit pas quel est l'élément vertébral représenté par ces apophyses tour à tour transverses et hématales, M. Owen a substitué une appréciation sinon plus exacte et plus vraie, au moins plus significative. Cet illustre anatomiste voit dans les apophyses dont il s'agit des apophyses transverses spéciales, constituant un élément distinct et autogène de la vertèbre-type, élément qu'il désigne sous le nom de *parapophyse* ou *apophyse transverse inférieure*. Ralliée au corps vertébral par une suture qui persiste dans certains Poissons, tels que les Cyprins, la parapophyse est sujette à des déplacements, et vient remplacer, à la partie inférieure du rachis, un autre élément vertébral, l'hémapophyse qui, forme l'arc hématal chez les autres animaux vertébrés, mais qui, selon M. Owen, manque chez les Poissons (1). En présence de cette détermination à la fois ostéogénique et homologique, plaçons celle de MM. Müller et Agassiz, qui considèrent les apophyses vertébrales désignées comme apophyses transverses par G. Cuvier et Meckel, les parapophyses rachidiennes de M. Owen, comme de véritables hémapophyses, lesquelles, d'une position d'abord latérale et d'une direction divergente, mais en général plus ou moins oblique de haut en bas et d'avant en arrière, finissent par devenir définitivement inférieures et médianes, après avoir formé un arc pour le passage des troncs vasculaires de la queue. M. Agassiz est tellement absolu dans cette détermination, qu'il va jusqu'à dire que les Poissons manquent d'apophyses transverses (2), tandis que M. J. Müller s'attache surtout à montrer que ce que Cuvier et Meckel nomment des apophyses transverses chez les Poissons

l'abdomen, les apophyses transverses des vertèbres des poissons, ou du moins les portions inférieures de ces apophyses divisées, s'inclinent vers le bas, et une traverse les unit, commençant ainsi la série des anneaux inférieurs de la queue.» Voy. aussi *Hist. nat. et générale des poissons*, t. I.

(1) « Le caractère général le plus frappant de la colonne vertébrale du tronc dans la classe *pisces*, est l'absence des hémapophyses osseuses, et la formation des arcs hémataux dans la queue par la courbe graduelle en bas et la coalescence des parapophyses. » (*Principe d'ostéologie comparée*. Paris, 1855, p. 190 et 191.

(2) *Poiss. foss.*, t. I.

ne correspond pas aux apophyses qui portent ce nom chez les animaux supérieurs, celles-ci étant des dépendances de l'arc neural (1).

Sur ce dernier point, M. Owen est d'accord avec M. Müller, et il n'en peut être autrement. Mais les transverses inférieures de M. Owen sont-elles autogènes, comme il le croit, c'est-à-dire indépendantes de l'arc inférieur normal? C'est ce que ne pensent pas MM. Müller et Agassiz, et c'est ce dont on pourrait déjà douter en lisant dans l'ouvrage de M. Owen que « les parapophyses des vertèbres du tronc font voir leur caractère autogène dans les Poissons seulement, » et que « ce caractère se perd de bonne heure dans la plupart des espèces, les paraphyses se soudant soit avec le corps de la vertèbre, soit les unes avec les autres, et avec l'hémépine en complétant le canal hématal (2). »

Or ce caractère autogène qui ne se voit que chez les Poissons, et qui le plus ordinairement disparaît de si bonne heure, quel est-il ? La présence d'une suture ; mais cette suture affectant une apophyse qui occupe successivement une position latérale, comme les transverses, et une position inférieure, comme les os en chevron qui forment l'arc vertébral inférieur des Reptiles et des Cétacés, peut indiquer l'indépendance primitive des apophyses en question, sans décider en aucune manière leur signification homologique.

La présence des côtes ne suffit pas non plus pour cette détermination, car les côtes s'attachant chez les Poissons, tantôt au corps des vertèbres, tantôt aux apophyses latérales ou inférieures, remontent, chez les autres Vertébrés, jusqu'aux apophyses transverses de l'arc neural.

Je ne crois pas, je l'avoue, à l'élément vertébral que M. Owen nomme *parapophyse ;* il me faudrait pour l'admettre le trouver quelque part, en même temps que les hémapophyses, et parfaitement distinct de celles-ci, coexistence que M. Owen lui-même ne signale nulle part sur la colonne vertébrale des Poissons, c'est-à-

(1) *Anat. des Myxinoïdes* (*Mém. de l'Acad. de Berlin* pour 1834).
(2) *Loc. cit.*, p. 208.

dire, de la seule classe où il reconnaisse à la parapophyse un caractère autogène. Dès lors, il ne reste plus d'autre solution possible pour la question qui nous occupe que celle qu'ont donnée MM. Müller et Agassiz : les apophyses tour à tour divergentes et médianes inférieures des vertèbres des Poissons, qui représentaient pour Cuvier et Meckel des apophyses transverses, appartiennent à l'arc inférieur, et représentent l'élément essentiel de cet arc, l'hémapophyse, aussi positivement que le font les os en chevron des vertèbres caudales des Reptiles et des Cétacés. Nous rentrons par cette détermination dans les données réelles et incontestables du plan typique de la vertèbre rachidienne ; il suffirait peut-être pour décider la question qui est ici en litige de rappeler les exemples cités depuis longtemps par Meckel, et reproduits par M. Müller, de quelques Poissons, tels que les Murènes, les Pleuronectes, quelques Gades, etc., chez lesquels on voit sur un certain nombre de vertèbres des apophyses qui se dédoublent par bifurcation, et fournissent de la même base une apophyse transverse et une hémapophyse caractérisée (1). Mais ce qui achève de mettre en évidence le vrai caractère homologique de l'élément vertébral dont il s'agit, c'est que, dans un bon nombre de Poissons, je vois cet élément prendre place dès le commencement de la colonne vertébrale à la partie antérieure et inférieure du corps des vertèbres, de manière à ce qu'il n'a qu'à se rapprocher de la ligne médiane pour former l'arc hématal. Dans les Scares, par exemple, cette disposition est frappante, et établit une remarquable symétrie dans les positions et la direction des deux arcs vertébraux, avant

(1) M. Owen a compris la portée de ces exemples où l'arc hématal nous montre un développement latéral en même temps qu'il grandit dans sa direction normale ; mais cet habile anatomiste n'en croit pas moins qu'il s'agit ici d'une parapophyse, et fait remarquer que le dédoublement ne se produit dans les cas en question que par gradation, et que l'apophyse transverse est celle qui apparaît la première. Cette reponse n'en serait une que s'il était préalablement établi que simple ou bifurqué, latéral ou vertical, l'élément qui varie ainsi, et qui prend si bien la place et les formes de l'arc hématal autogène, n'est pas cet arc lui-même, mais un autre élément, ce qui, encore une fois, ne peut être prouvé que par l'existence simultanée d'une parapophyse et d'une hémapophyse indépendantes l'une de l'autre. (*Loc. cit.*, p. 192.)

comme après la coalescence sur la ligne médiane des éléments pairs de l'inférieur, par conséquent aussi bien dans la région où ces derniers portent des côtes que sous la région caudale. Les Gymnodontes n'offrent pas dans la partie viscérale du tronc des apophyses inférieures aussi développées que celles des Scares; ils n'en ont que sur quelques vertèbres voisines de la nageoire anale, et elles sont assez souvent rudimentaires. Or, quand elles sont courtes et réduites à un tubercule plus ou moins saillant, celui-ci se porte verticalement en bas comme une hémapophyse; lorsqu'au contraire ces apophyses prennent une certaine extension, elles s'écartent de la ligne médiane pour faire la fonction d'apophyses transverses, et s'offrir comme points d'attache aux muscles de la queue, comme on le voit dans les Diodons.

Il ressort, au reste, de tout ce que nous venons de dire que les véritables apophyses transverses, celles qui procèdent de la base des neurapophyses, manquent généralement chez les Poissons osseux. Sous ce rapport, on serait bien tenté de donner raison à l'affirmation absolue de M. Agassiz. Déjà cependant nous avons rencontré chez les Ostracionides, se détachant des parties latérales du corps des vertèbres, de petites lamelles à base large, plus ou moins atténuées à leur extrémité, et qui, bien que situées à différentes hauteurs, semblent appartenir à l'anneau qui, après avoir embrassé le corps vertébral, va former le canal de la moelle épinière, caractère que fait ressortir la présence d'hémapophyses verticales, mais non coalescentes au-dessous de celles dont je parle. Je retrouve chez les Gymnodontes un fait du même genre et encore mieux caractérisé, comme on peut le voir par le dessin que j'en donne. Le *Tetrodon lævigatus* Lin., qui, sous ce rapport, ne laisse rien à désirer, nous offre de véritables apophyses transverses supérieures ; à peine indiquées sur les vertèbres antérieures, elles grandissent peu à peu, et forment sur la région moyenne du tronc une suite de tiges étroites, partant de la neurapophyse, à côté et derrière l'articulation antérieure, et se dirigeant en dehors, en haut et en avant (1). M. Dareste avait déjà signalé

(1) Pl. 5, fig. 8.

la présence de ces apophyses dans un autre groupe des Gymnodontes, dans les Triodons. Dans la plupart des squelettes que j'ai sous les yeux, ces saillies latérales de l'arc neural sont rudimentaires ou comme absorbées dans un développement plus qu'ordinaire des articulaires antérieures; mais le fait de leur existence, d'abord dans les Ostracionides, puis dans quelques Gymnodontes appartenant à des familles différentes, n'en est pas moins une circonstance à prendre en considération dans l'ostéologie de ces Plectognathes, quand on se rappelle que les apophyses transverses manquent à la généralité des Téléostéens.

En résumé, la colonne vertébrale des Gymnodontes se fait remarquer : 1° Par le dédoublement des apophyses épineuses d'un certain nombre de vertèbres, l'arc neural demeurant, quoiqu'on en ait dit, en forme de voûte ou de plafond au-dessus de la moelle; 2° par le caractère bien dessiné des hémapophyses, qui n'apparaissent que tard, alors même qu'il existe des côtes (Triodons) (1), et qui prennent tout de suite une direction verticale en se rapprochant de la ligne médiane, jetant rarement de côté et d'autre des apophyses transverses inférieures (Diodons); 3° enfin par la présence, sinon constante, au moins très manifeste dans quelques genres, de véritables apophyses transverses appartenant à l'arc inférieur.

### De la tête en général.

La tête osseuse des Gymnodontes offre plus d'unité dans sa structure générale que dans ses formes. Très large et relativement courte et déprimée chez les Diodons, cette région du squelette se rétrécit et s'allonge plus ou moins chez les Tétrodons et les Triodons, en conservant sa dépression; chez les Moles, elle s'allonge et s'élève. Mais dans toute cette série de Poissons, on est frappé de la faible inclinaison que présente le profil; il est dessiné dans sa plus grande étendue par une ligne voisine de l'horizontale, plus élevée cependant chez les Orthagorisques que dans toutes les autres familles, mais en contraste cependant avec la pente rapide du profil

(1) Celles-ci sont attachées au corps des vertèbres antérieures.

des Ostracionides et des Balistides. L'œil conserve une position haute et plus ou moins distante de la bouche, sous la protection d'une voûte orbitaire souvent très arquée : on ne pourrait toutefois généraliser ce fait, ni le reconnaître comme caractéristique ; c'est un faible rappel de ce qui nous a frappé dans la tête osseuse des Sclérodermes. Ce qui est plus caractéristique chez les Gymnodontes en particulier, c'est le développement de la région frontale, et, comme conséquence de sa largeur dans beaucoup de cas, l'écartement latéral des orbites. En avant de cette région, on remarque une région nasale étroite, et ordinairement très courte. En arrière et sur un plan plus incliné que celui des frontaux, le crâne se termine par une région pariéto-occipatale courte et comme contractée ; les deux crêtes latérales que G. Cuvier signale ici, la crête occipito-pariétale ou intermédiaire et la mastoïdienne ou externe, se confondent plus ou moins complétement en une seule. Quant à la crête médiane, formée par le prolongement de l'interpariétal, elle est, à une seule exception près, couchée horizontalement dans le sillon que forme le dédoublement des apophyses épineuses des premières vertèbres.

A ces traits généraux, qui caractérisent déjà assez bien la tête des Gymnodontes, ajoutons ceux que nous fournissent, d'une part, le crâne étudié dans la série de ses vertèbres, d'autre part les os de la face (1).

### Crâne.

La vertèbre occipitale s'éloigne aussi peu que possible de la forme des vertèbres rachidiennes ; elle demeure en majeure partie en arrière du plan postérieur du crâne, et en saillie horizontale derrière lui. Les neurapophyses de cette vertèbre, les occipitaux laté-

(1) Tout ce qui va suivre se rapporte plus spécialement aux deux groupes des Diodoniens et des Tétrodoniens, les seuls que j'aie pu étudier sur des squelettes nombreux, bien préparés et entièrement à ma disposition. Mes observations sur les Moles ont été faites dans des circonstances moins favorables ; quant aux Triodons, je ne connais leur ostéologie que par le mémoire déjà cité de M. Dareste.

raux de Cuvier, sont placés en arc ou en toit au-dessus du corps vertébral et se rejoignent sur la ligne médiane. De leur base, ils jettent en arrière une apophyse articulaire qui serre les côtés de la première vertèbre du tronc, et latéralement des apophyses transverses souvent considérables (1).

La région postérieure de la tête, d'abord horizontale en raison de la projection de l'occipital dans ce sens, se relève avec la vertèbre sphéno-pariétale ; mais le plan incliné que forme celle-ci commence et finit avec elle ; de là, cette faible hauteur verticale, ou, pour mieux dire, cette dépression que nous avons signalée tout à l'heure comme caractérisant le crâne des Gymnodontes, bien différent, en effet, sous ce rapport de la forme type des Poissons osseux ordinaires, et, pour ne pas nous éloigner de notre point de comparaison actuel, bien éloigné aussi de la dimension subverticale du crâne des Sclérodermes à son extrémité occipitale.

La vertèbre sphéno-pariétale est elle-même très courte d'avant en arrière ; son corps, qui est un véritable sphénoïde postérieur, et une partie seulement de ce que Cuvier nomme le *sphénoïde principal*, est à peine aussi long que le basi-occipital, avec lequel il se confond presque autant par sa forme que par la suture effacée qui unit ces deux os. A leur tour, les ailes qui s'élèvent du sphénoïde postérieur vers la région pariétale sont étroites, moins cependant à leur partie supérieure qu'à leur naissance ; elles aboutissent à la pièce que Cuvier assimile à l'apophyse mastoïde du temporal, et M. Agassiz à la partie squameuse de celui-ci. Cette dernière pièce offre ici tous les caractères d'une apophyse transverse de la vertèbre sphéno-pariétale ; enfin celle-ci se termine supérieurement de chaque côté par un petit pariétal, qu'il n'est pas toujours très facile de distinguer de l'occipital externe de M. Cuvier. Placé en arrière, entre le mastoïdien et l'interpariétal, cet occipital externe, plus grand que le pariétal, se partage entre le versant occipital et le versant pariétal de la crête latérale unique dont nous avons parlé, circonstance qui doit être remarquée comme l'un des caractères du crâne des Gymnodontes ; car dans

(1) Pl. 6, fig. 7.

les Poissons l'occipital externe a généralement une direction plus ou moins verticale, qui donne de la hauteur à la face postérieure de la boîte cérébrale, tandis qu'ici sa direction très oblique achève de déprimer cette région du crâne. Celle-ci est donc tout à la fois abaissée par son obliquité, diminuée d'avant en arrière par le peu d'étendue antéro-postérieure de la vertèbre sphéno-pariétale, et développée transversalement par l'extension dans ce sens de la pièce mastoïdienne.

Ce qui augmente encore cette étendue transversale, c'est que la plaque pariétale qui achève l'anneau de cette même vertèbre est séparée de sa congénère par l'intercalation d'un interpariétal à base très large. Cet os impair a tout à fait la signification que son nom lui donne ; car, par sa forme bien plus large en avant qu'en arrière, il sépare beaucoup plus les pariétaux que les occipitaux externes ; ces derniers sont très près l'un de l'autre, et justifient assez bien par cette circonstance, par leur direction particulière et par leurs relations avec les occipitaux latéraux, la détermination qu'en donnent quelques auteurs, tels que Ét. Geoffroy, pour qui les occipitaux externes représentent les suroccipitaux, ou l'apophyse épineuse occipitale divisée. Ici l'homologie des occipitaux latéraux avec les neurapophyses des vertèbres rachidiennes, et celle des occipitaux externes avec les neurépines, semblent démontrées, en ce qui concerne l'anneau lui-même, par la ressemblance morphologique la plus complète, et pour les apophyses épineuses par l'écartement et les formes lamelleuses de celles des premières vertèbres du tronc ; l'interpariétal reste alors ce que l'apparence nous le montre : l'apophyse épineuse de la deuxième vertèbre céphalique en comptant d'arrière en avant. Il en occupe la position la plus avancée, comme les apophyses suivantes, à l'égard de leurs vertèbres respectives ; il s'intercalle même un peu entre les frontaux principaux.

La limite du sphénoïde postérieur et de l'antérieur n'est pas évidente dans les Gymnodontes comme elle l'est chez les Balistes, où la suture qui l'indique se dessine très bien ; mais l'analogie la place au-devant des ailes temporales, et la fait correspondre à la région frontale, qui commence en arrière avec le contour des or-

bites. Ici commence aussi le sphénoïde antérieur, non pas la petite pièce que G. Cuvier nommait ainsi, et que sa situation ne permet pas de considérer comme telle, mais un long os lamelliforme comme chez les Balistes, et qui se rapproche cette fois tellement de la voûte du crâne, qu'il forme une cloison interorbitaire plus ou moins complète (1). On distingue dans cette lame : 1° sa partie supérieure qui conserve une certaine épaisseur, aboutit à l'ethmoïde et au vomer en avant, continue la ligne basilaire du crâne, en un mot représente le corps de l'os; et 2° sa région inférieure, expansion de la première, et qui, formée par des fibres divergentes, s'amincit de plus en plus en approchant de son bord libre. Cette disposition du sphénoïde antérieur se retrouve chez tous les Plectognathes, quoique à différents degrés. Mais ce qui est caractéristique chez les Gymnodontes, c'est le rapprochement de la pièce en question et de la voûte orbitaire, c'est-à-dire de la base du crâne et de sa partie supérieure, à ce point que ces deux parties se touchent presque dans toute la région frontale, réalisant ainsi au plus haut degré la dépression générale de la région crânienne, et par suite celle de la tête dans son ensemble chez les Poissons qui nous occupent.

Voilà donc le sphénoïde antérieur lamelliforme, et devenu cloison interorbitaire dans la mesure de son développement en ce sens. Malgré sa situation, il reste encore assez d'espace entre le bord supérieur de cet os et le frontal pour qu'une autre pièce vienne se loger dans l'intervalle qui les sépare; c'est moins une pièce nouvelle qu'un appendice de la précédente. Parti du sphénoïde, impair d'abord, puis se bifurquant avant d'atteindre le frontal, cet appendice prolonge sur celui-ci, à droite et à gauche et d'avant en arrière, deux petites ailes qui deviennent ainsi des éléments de l'orbite. Ce sont là les véritables petites ailes sphénoïdales, les ailes orbitaires (2).

(1) Ce que je nomme sphénoïde antérieur est donc la partie antérieure et la plus considérable du sphénoïde principal de Cuvier.

(2) Les ailes orbitaires peuvent être considérées comme formées de deux éléments, dont l'un, celui dont il s'agit ici, part du sphénoïde, et l'autre se déploie au-dessus de lui. Je reconnais ces éléments dans quelques Gymnodontes, mais

Ces ailes sphéno-frontales sont comme toujours dépassées en tous sens par les frontaux. Le développement de ces derniers os est caractérisé chez les Gymnodontes, je veux dire dans le type prédominant, celui des Diodons et des Tétrodons, par un développement plus ou moins prononcé, au moins très général du diamètre transversal. Ce caractère morphologique contraste avec celui de la région frontale des Balistides; il est surtout remarquable dans toute la partie de cette région qui forme la voûte des orbites, en sorte que le bord orbitaire des trois frontaux, et surtout des deux extrêmes, se trouve rejeté plus ou moins loin de la ligne médiane.

Le frontal principal, articulé avec son congenère par une suture écailleuse et dentelée, forme avec lui une surface plane qui correspond à la partie la plus avancée de la boîte cérébrale, et la dépasse même un peu en avant. Ces mêmes frontaux ne se touchent pas d'une extrémité à l'autre de leur bord interne; en arrière, l'interpariétal les écarte l'un de l'autre; en avant, ils laissent passer entre eux les pièces ethmo-nasales. Le plan qu'ils forment sur les côtés de leur ligne de jonction se relève souvent latéralement, et se convertit en une surface courbe, qui dessine une voûte orbitaire plus ou moins prononcée. Celle-ci est complétée en avant par un large frontal antérieur, en arrière par un frontal postérieur qui, fléchi sur lui-même, se partage entre l'orbite et une fosse temporale très caractérisée.

La vertèbre ethmo-nasale laisse à peine distinguer les trois pièces dont elle se compose. Le nasal en dessus, le vomer en dessous, font corps avec l'ethmoïde, et ne semblent en être que les couches supérieure et inférieure. Ici cependant le nasal quitte bientôt la ligne médiane pour se jeter sur les côtés et découvrir l'ethmoïde, qui, à son tour, est ordinairement dépassé par le vomer, au moins et le plus souvent par une bifurcation de ce dernier qui

le premier seul est toujours distinct. M. Owen appelle l'un *ento-sphénoïde*, l'autre *orbito-sphénoïde*, M. Agassiz considère le premier comme un premier éthmoïde, qu'il appelle *crânien*. Pour discuter ces divergences, il faut discuter la théorie de la tête osseuse et les divers systèmes proposés à son sujet. C'est ce que je me propose de faire dans un autre travail.

fournit deux branches divergentes en forme de coin, destinées à rencontrer les palatins. Ainsi le crâne ne se termine pas en avant, comme chez les Balistides et les Ostracionides, par une surface ethmoïdale large et concave, un peu semblable à celle d'un corps de vertèbre; son extrémité, prolongée au delà de l'ethmoïde, est formée par les hémapophyses vomériennes qui s'écartent l'un de l'autre, font place à un intermaxillaire un peu différent de celui des familles précédentes, comme nous le verrons tout à l'heure, et vont enfin s'unir aussi largement que solidement aux palatins. Ce mode de terminaison apporte une modification importante à l'articulation de la mâchoire supérieure avec la vertèbre ethmonasale.

## Système facial.

Commençons par constater que nulle part les pièces faciales qui composent l'arcade palatine ne sont aussi solidement assujetties soit au crâne, soit les unes aux autres, que dans les Gymnodontes. Rappelons encore qu'ici, comme chez les Ostracionides et les Balistides, la série des sous-orbitaux manque complétement (1).

Le palatin, si peu développé dans les Sclérodermes, est une grande pièce triangulaire, qui saisit dans une entaille de son bord supérieur l'extrémité cunéiforme du vomer, fournit de son angle antérieur une apophyse articulaire transversale au maxillaire, s'appuie et s'unit largement au ptérygoïdien en arrière, et tient inférieurement à l'os transverse de Cuvier par une suture dentelée. Ce dernier os n'est pas moins solidement attaché à un très grand jugal Cuvier), qui va rejoindre à son tour en arrière et en haut la pièce large et écailleuse donnée par M. Cuvier comme l'homologue du tympanique, et qui rejoint en même temps le bord postérieur du ptérygoïdien. Il n'y a pas jusqu'au symplectique lui-

(1) Puisque je rappelle leur absence chez les Balistes, je dois relever une erreur qui s'est glissée dans une figure des premières planches du grand et illustre ouvrage de M. Agassiz. Le tour de l'orbite du Baliste y est complété par quelques sous-orbitaires. Je n'ai jamais trouvé à cette place autre chose qu'une bande de tissus fibreux.

même qui ne s'étale en une lame unie par des sutures avec les deux pièces précédentes, ajoutant ainsi à l'étendue superficielle de la paroi osseuse de la bouche, en même temps qu'à la solidarité des pièces qui la composent. Par ce même symplectique, mais bien plus encore par le jugal, l'arcade palatine étend cette solidarité au préopercule, sur lequel je reviendrai tout à l'heure.

Les deux mâchoires sont généralement, et toute proportion gardée, plus volumineuses chez les Gymnodontes que chez les Sclérodermes, premier caractère qui se rattache plutôt à celui de l'armure dentaire qu'à l'ensemble du type céphalique. Ce qui rentre davantage dans ce type déprimé et développé dans le sens horizontal, c'est l'élargissement des arcades dentaires; il est surtout très remarquable chez les Diodoniens et les Orthagorisques, moins prononcé chez les Tétrodoniens, et n'est plus sensible chez les Triodoniens comparés aux Sclérodermes.

A la mâchoire supérieure, je remarque des proportions beaucoup plus voisines de l'égalité entre le maxillaire et l'intermaxillaire que dans le groupe que je viens de nommer. Le maxillaire, au lieu de s'effacer derrière l'intermaxillaire, au point de ne devenir apparent qu'à son extrémité inférieure, ou bien de se réduire à côté de ce dernier os au rôle d'une simple lame apophysaire comme dans les Triacanthes, grandit tout à la fois, en arrière et en bas, pour se placer partout en évidence, et constituer non plus seulement l'angle inférieur de la mâchoire, mais à peu près une moitié de sa surface. C'est encore ici un fait d'élargissement, d'augmentation superficielle, à opposer à l'étroitesse et à la compression des formes dans les autres Plectognathes. Mais ce fait a encore une autre signification; il se rattache à l'articulation de la mâchoire supérieure, qui, chez les Gymnodontes, se concentre tout entière sur le point de rencontre du maxillaire avec le palatin, celui-ci offrant l'apophyse allongée transversalement dont nous avons parlé, celui-là une facette un peu creusée et de même forme; de là le développement de ces deux pièces dans les régions par lesquelles elles se correspondent, et l'assujettissement si solide du palatin au vomer.

L'intermaxillaire ne joue, plus en effet, sur l'extrémité de

l'ethmoïde, comme dans les Balistes et les Ostracions ; un intervalle assez grand entre ces deux os et les branches terminales du vomer qui vont s'engager dans l'entaille du palatin empêchent le prémaxillaire de remonter jusqu'à l'extrémité ethmoïdienne du crâne. Cependant le prémaxillaire des Gymnodontes remplit en partie l'espace angulaire embrassé par les branches divergentes du vomer ; il y dirige deux petites apophyses montantes destinées à des attaches musculaires, non pour des faisceaux rétracteurs (le mode d'articulation de la mâchoire supérieure ne permet pas ici de protraction), mais pour des releveurs.

Quand l'intermaxillaire reste divisé sur la ligne médiane, ses deux moitiés s'unissent par un engrenage très régulier de dents plus ou moins fortes. Il n'est pas très difficile de retrouver des traces de cette suture dans les Diodoniens eux-mêmes. La lame interne de l'intermaxillaire se replie et se prolonge horizontalement, de manière à former un palais osseux plus ou moins complet ; sans lacune, et marqué seulement d'une ligne de jonction médiane chez les Diodons, ce palais laisse entre ses deux moitiés, chez les Tétrodoniens, un espace membraneux qui est assez grand dans certaines espèces, diminue graduellement chez les autres, et finit dans quelques-unes par se réduire à un intervalle linéaire, comme celui qui existe à l'extérieur. La division de l'intermaxillaire ne constitue donc pas un caractère aussi nettement délimité qu'on pourrait le croire, et cette considération ne devra pas être oubliée dans la détermination des affinités et de la coordination des divers groupes de Gymnodontes.

La mâchoire inférieure divisée ou indivise, mais laissant aussi, dans ce dernier cas, apercevoir les traces de la suture dentelée qui réunit ses deux branches, cette mâchoire oppose intérieurement à la surface horizontale de la précédente un plancher épais, saillant en arrière dans les Diodoniens, mince et échancré, au contraire, chez les Tétrodoniens ; on retrouve encore ici une ligne symphisaire et d'autant plus apparente, qu'elle sépare des séries de productions dentaires qui donnent du relief aux côtés de cette surface.

Du reste, la mâchoire inférieure, composée d'une pièce dentaire

et d'une pièce articulaire intimement soudées et confondues, laisse à peine apercevoir l'os angulaire au point de rencontre plus ou moins saillant de ses bords postérieur et inférieur. Tous ces éléments de l'arc mandibulaire se trouvent ici, comme chez les autres Plectognathes, pressés les uns contre les autres d'avant en arrière, et amenés ainsi à se fusionner plus complétement encore que les pièces de la mâchoire supérieure. Cette concentration et la fusion qui en résulte semblent toutefois se proportionner au degré d'union des deux pièces de la mâchoire supérieure. C'est dans les groupes chez lesquels le maxillaire grandit et tend à se détacher du prémaxillaire, dans les Diodoniens par exemple, que l'on retrouve encore quelques traces des lignes qui séparaient primitivement l'angulaire, l'articulaire et le dentaire.

L'os auquel G. Cuvier donnait le nom de *temporal*, et qui, complétant le système facial proprement dit, comme racine de l'appendice mandibulaire, est suspendu et articulé au frontal postérieur et au mastoïdien, cet os, dis-je, n'offre un peu de développement qu'à son extrémité supérieure ou articulaire. A partir de là, il se rétrécit beaucoup, et se réduit aux dimensions d'une lame apophysaire qui n'atteint ni le tympanal, ni le symplectique ; en un mot, le temporal, s'il mérite ce nom, s'isole de la série dont il fait partie, pour jouer uniquement le rôle de suspenseur du système qui va maintenant nous occuper.

### Système operculaire.

Le préopercule varie beaucoup chez les Gymnodontes (1). Dans les espèces à tête basse, déprimée, cette pièce est courte, mais large, c'est-à-dire très étalée dans sa partie moyenne et en arrière, où son bord se coude à angle droit ou même un peu aigu, reportant par la partie verticale de ce bord le battant operculaire, et, par suite, la fente branchiale et le membre pectoral à une assez

(1) En comprenant le préopercule dans ce système de pièces, je ne prétends en aucune façon préjuger la question de sa signification dans le plan du squelette facial, question qui m'occupera ailleurs.

grande distance en arrière de l'œil (1). Dans les autres types, le préopercule est plus long, moins large et moins lamelliforme.

Le battant operculaire, généralement un peu plus développé dans ce groupe de Plectognathes que dans les Sclérodermes, demeure cependant encore très loin des dimensions qu'il acquiert dans les Poissons ordinaires. C'est chez les Gymnodontes qu'on reconnaît le mieux que le système operculaire des Plectognathes est complet. Ici enfin les formes de ce petit ensemble de pièces osseuses justifieraient assez bien la théorie d'Ét. Geoffroy, qui les assimile aux osselets de l'oreille tympanique. L'opercule proprement dit ne rappelle cependant pas l'étrier, dont cette théorie le fait l'homologue ; ce premier os operculaire offre, en effet, constamment la forme d'une lame allongée, dirigeant en arrière un bord angulaire plus ou moins éloigné du bord antérieur, qui est droit. Son extrémité inférieure est plus ou moins étroite, et se trouve ou contournée, ou seulement bordée d'un côté par la seconde pièce. Celle-ci, c'est-à-dire le sous-opercule, représente ou bien une plaque arrondie, mince, demi-circulaire, et complémentaire de la précédente, et c'est le cas des Tétrodons, ou bien une palette placée en avant de l'opercule, et prolongée dans la direction du préopercule par un processus étroit et plus ou moins avancé.

Chez les Diodons, le sous-opercule offre un peu la forme d'une hache, dont le manche serait représenté par le prolongement dont nous venons de parler. Ce prolongement se place à la face interne du préopercule, et va rejoindre une dernière pièce osseuse, que ses connexions, comme l'a fort bien montré M. Dareste, nous désignent comme un interopercule. C'est ici une sorte de tige étroite, comme le processus du subopercule auquel elle fait suite, et qui gagne le bord postérieur de la mandibule (2). Mais, pour compléter la ressemblance, je remarque chez les Diodons qu'avant de se terminer, cet interopercule reprend un moment sa forme lamelleuse.

(1) Pl. 5, fig. 12.
(2) Pl. 5, fig. 13.

Nous retrouvons ce même os non-seulement dans tous les Gymnodontes où il fait immédiatement suite au subopercule, mais chez les Balistes et les Ostracions où sa configuration et ses rapports avec la mâchoire inférieure le font très bien reconnaître. Lors de mes études sur les Balistides, je l'avais, à l'exemple de M. Agassiz, considéré comme un os sans analogue, ou, du moins, je n'avais pu le rattacher à l'un des systèmes du voisinage. M. Dareste nous a donné très certainement la véritable signification de cette pièce.

## Système hyoïdien.

Au préopercule se trouvent suspendues comme toujours les branches de l'hyoïde qui portent les rayons branchiotéges ; elles sont courtes en général : leur première pièce, celle que Cuvier assimile à l'os styloïde, a la forme d'une petite plaque soudée à l'espèce de palette, par laquelle débute la pièce suivante, qui réunit confondus deux éléments de cette série ; en avant, celle-ci se termine par une pièce rudimentaire. Ces branches hyoïdiennes se rencontrent sur la ligne médiane en avant de l'os lingual, et s'articulent l'une avec l'autre par des surfaces plus ou moins larges et au moyen d'un ligament fibro-cartilagineux (1). Élargies en arrière, plus étroites dans leur moitié antérieure, elles rallient à elles de chaque côté six rayons distribués en deux groupes, dont l'un antérieur composé de deux rayons, l'autre postérieur de quatre.

Ceux-ci sont des tiges étroites et arquées, assez longues, pour gagner en arrière la région operculaire, et insérées sur la face externe de la portion large de la branche hyoïdienne.

Les deux autres rayons s'articulent sur le bord de la portion rétrécie, qui représente le troisième élément de la branche. Ce nombre et cette distribution des rayons branchiotéges nous rappellent ce que nous voyons chez les Balistides et les Ostracionides, et doivent être remarqués comme un des caractères du système

(1) La position de cette symphyse au delà de l'os lingual sépare ici les supports des rayons branchiotéges de la série médiane du système hyoïdien. Ce fait est à remarquer.

operculaire des Plectognathes en général (1). Mais un caractère qui est propre aux Gymnodontes, c'est la conversion du rayon antérieur en une lame qui va s'élargissant d'avant en arrière, se replie sur elle-même dans le sens de sa longueur, et forme sous la gorge une large surface d'insertion musculaire, destinée à un gros muscle abaisseur de la masse charnue qui représente la langue, muscle dont nous avons déjà parlé.

Cette modification se rattache bien évidemment au rôle de celle-ci dans l'aspiration de l'air dont les Diodons et les Tétrodons ont la faculté de remplir leur grande poche post-œsophagienne ; aussi le premier rayon branchiotége revient-il à des formes et à des dimensions plus normales dans les Gymnodontes qui ne se boursouflent pas, c'est-à-dire dans les Orthagorisques. Chez les Triodons, il conserve encore un peu la forme lamelleuse.

Quant aux autres parties du système hyoïdien, je remarque d'abord que ce qu'on a nommé la queue de l'hyoïde n'existe que chez les Orthagorisques ; que l'os lingual, placé derrière la symphyse des branches latérales, est très grêle ; que la série des pièces qui portent les arcs branchiaux est très courte ; que ces arcs sont au nombre de cinq, dont un ou deux incomplets et dépourvus de branchies.

Ces derniers, qui ne sont représentés ailleurs que par les osselets courts auxquels on a donné le nom de *pharyngiens inférieurs*, conservent ici leur forme allongée, et semblent remplir un rôle dans le ballonnement volontaire des Gymnodontes, en concourant à fermer l'œsophage après la réplétion de la poche à air. Ce qui est positif, c'est qu'il en existe deux chez les véritables orbes épineux, tandis qu'on n'en rencontre qu'un seul, le dernier, chez les Triodons, l'autre demeurant pourvu de peignes branchiaux.

(1) Dans les poissons osseux, les rayons branchiotéges sont généralement distribués par leur insertion en deux catégories, les postérieurs reposant sur la partie externe du deuxième élément de la branche hyoïdienne, les antérieurs s'attachant à la marge du troisième ; mais le nombre des rayons de chaque catégorie varie beaucoup et peut fournir de bons caractères génériques, avant de prendre en considération le nombre total, comme on s'est borné à le faire jusqu'à présent.

Au-dessus et un peu en arrière de ces dernières pièces du système hyoïdien est suspendue une paire de pharyngiens supérieurs, décomposés à leur bord libre en trois lames arquées, dont deux portent chacune une rangée de petites dents grêles ; ces os rappellent les pharyngiens des Balistes.

### Appendices.

Les *Triodons* sont les seuls Gymnodontes qui portent des côtes, les seuls Plectognathes, qui, avec les Balistes, offrent quelques-uns de ces arcs osseux. Chez eux, ceux-ci sont presque tous attachés au corps des vertèbres troncales, tandis que dans les Balistides ils étaient suspendus à des apophyses situées à diverses hauteurs, mais qui n'en représentent pas moins, comme nous l'avons vu, des éléments du système apophysaire inférieur.

Quant aux membres, il n'y en a jamais qu'une paire, la pectorale, comme dans la majorité des Plectognathes. Cependant nous retrouvons ici dans un genre, celui des Triodons, cet os impair, médian, qui existait chez tous les Balistides, et qui représente le bassin ; sa présence, comme dans un grand nombre de ces derniers, se rattache à l'existence d'un fanon abdominal, lequel rappelle, avec exagération, chez les Triodons, celui des Monacanthes les plus remarquables sous ce rapport (1) ; seulement l'os en question ne se montre pas plus à l'extérieur chez les Triodons que chez les Alutères.

Des deux scapulaires, le supérieur seul est une pièce distincte ; il s'articule au crâne par une extrémité simple. L'inférieur ne se distingue pas de l'os qui continue et achève inférieurement cette ceinture du membre antérieur, et que je regarde avec M. Agassiz comme une véritable clavicule, non comme un huméral, ainsi que le voulait Cuvier. Ici cette clavicule est en général bien moins longue, moins développée, moins repliée sur elle-même que chez les Balistides, et s'atténue beaucoup en avant où sa pointe n'atteint pas toujours la ligne médiane, ni par conséquent celle du côté

(1) Le *monacanthus sinensis*, et ceux du même type. (Voir ma monographie de cette famille, *Ann. sc. nat.*, 4ᵉ sér, t. I.)

opposé. Elle diffère bien plus encore de l'os lamelliforme si court et si large, que nous voyons à la même place chez les Ostracions. Le véritable humérus, ainsi que le radius et le cubitus, se trouvent à divers degrés de développement dans l'ensemble de ce groupe; en général, ces os sont très réduits et caractérisés seulement par leur situation réciproque; enfin, à l'épaule des Gymnodontes, se rattache un coracoïdien ensiforme, ordinairement composé de deux pièces, parfois aussi très court. Ét. Geoffroy faisait jouer à cet os un rôle dans l'occlusion de l'œsophage, qui empêche l'air de sortir lors du ballonnement.

### Résumé et conclusion de la description qui précède.

En plaçant le squelette des Gymnodontes en présence de celui des Sclérodermes, nous avons remarqué plusieurs différences générales, dont les plus caractéristiques me semblent être les suivantes :

#### A. Pour la colonne vertébrale.

1° L'absence, ou plus ordinairement la brièveté en même temps que le dédoublement d'un certain nombre d'apophyses épineuses antérieures, sans préjudice de l'existence et de la rencontre des éléments de l'arc supérieur (neurapophyses) sur la ligne médiane.

2° Une tendance quelquefois très prononcée de la base des neurapophyses à fournir des apophyses transverses.

#### B. Pour le crâne.

3° Comme caractère morphologique général, la substitution du développement horizontal et latéral au profil incliné et aux formes plus ou moins hautes et étroites qui caractérisent les Sclérodermes, et surtout les Balistides.

Et comme circonstances principales du même fait :

4° L'abaissement de l'anneau occipital (occipitaux latéraux) sur la ligne des vertèbres rachidiennes, ce qui diminue d'autant la hauteur de la région postérieure du crâne, déjà amoindrie par la prédominance de son développement latéral.

5° La direction horizontale de la crête médiane (interpariétale), offrant, en outre, une surface quelquefois assez large (pl. 6, fig. 8); puis la confusion des crêtes pariétale et temporale ou mastoïdienne, qui se rencontrent sur une même ligne horizontale, à peu près perpendiculaire à la crête médiane, ligne de faite peu saillante qui sépare la face postérieure du crâne de la fosse temporale.

6° Le développement très prédominant de toute la région sphéno-frontale dans une direction antéro-postérieure, point ou faiblement inclinée en avant, et dans une direction transversale qui l'emporte souvent sur la première. Cette région, dont les côtés dessinent, en général, imparfaitement la voûte des orbites, domine un sphénoïde antérieur lamelliforme, qui s'avance horizontalement sous cette voûte, s'en rapproche plus ou moins, l'atteint avec un faible écart latéral par les petites ailes, et finit par former une cloison interobitaire (pl. 5, fig. 12).

C. Pour le système facial.

7° L'assujettissement de l'aile palatine au crâne, au moyen d'une articulation en mortaise du palatin avec le vomer; puis le développement de cette même aile en une paroi osseuse, dont les pièces sont solidement unies par des sutures dentelées ou écailleuses.

8° L'articulation principale et ordinairement unique de la mâchoire supérieure avec le crâne établie, non plus entre l'intermaxillaire et l'ethmoïde, mais entre le maxillaire et le palatin.

9° L'élargissement graduel des deux mâchoires et de l'ouverture des arcades dentaires, en même temps qu'un développement notable du maxillaire supérieur, qui s'élargit et dépasse beaucoup l'intermaxillaire par son extrémité commissurale.

10° Le prolongement interne et horizontal du prémaxillaire et du maxillaire inférieur en deux plates-formes osseuses, échancrées ou discoïdales, et garnies ou non de productions dentaires mousses.

Les traits que nous fourniraient le système operculaire, les pièces hyoïdiennes et les appendices appartiennent plutôt aux

subdivisions qu'à l'ensemble du groupe des Gymnodontes. Mais ceux que nous venons d'énumérer suffisent, ce me semble, pour caractériser un type ostéologique parfaitement distinct de celui des Sclérodermes.

Les Gymnodontes représentent donc par leur squelette, et plus spécialement par les formes et la direction du développement de leurs vertèbres rachidiennes, de leurs vertèbres crâniennes et de leurs appendices faciaux, quelque chose de plus qu'un ensemble d'espèces Plectognathes, rattachées les unes aux autres par la ressemblance de leur armure dentaire ; ils réalisent un des modes généraux du développement de ces espèces, un type. Nous verrons plus tard de quel ordre sera ce type, et quelle dénomination hiérarchique nous devons donner au groupe qui le réalise. Nous avons besoin pour le savoir de déterminer et de mesurer d'abord les modifications ostéologiques qui constituent sa diversité.

## Subdivision des Gymnodontes.

Les zoologistes rattachent tous les Gymnodontes à quatre genres, désignés sous les noms de *Triodons*, *Tétrodons*, *Diodons* et *Moles* ou *Orthagorisques*. Ces coupes sont établies en partie sur la division et l'indivision des deux mâchoires ou de l'une d'elles, en partie sur les formes du corps et sur son revêtement. Mais ces caractères ne décident ni de la valeur des groupes, ni de leurs affinités prédominantes, ni par conséquent de leur coordination.

Si je laisse un moment de côté les caractères fournis par les mâchoires indivises ou divisées, et si je commence par consulter les formes du corps et son revêtement, je vois les Gymnodontes se rallier à trois formes principales, auxquelles se rattachent trois modes d'écaillure.

Je trouve d'abord ici le type des Triodons (c'est-à-dire l'espèce encore unique qui le représente) nettement séparé des deux autres par un corps régulier à ses extrémités, mais considérablement modifié dans sa région abdominale par la présence d'un énorme fanon qui descend de la gorge pour remonter de suite vers l'anus, et qui rappelle avec exagération celui de quelques Monacanthes.

A cette forme caractéristique se joint une écaillure de consistance cornée, composée de petites lames enchâssées dans le derme par une base longue et étroite, et qui laissent saillir une crête couronnée de petites dents épineuses; ces squames semblent établir le passage des lames spinifères des Monacanthes aux épines à base radiciforme des Orbes (1).

Des Gymnodontes à fanon abdominal, nous passons à une seconde forme, celle de ces Orbes épineux que je nommais tout à l'heure, et qui réunissent des espèces à mâchoires divisées ou tétrodoniennes, et des espèces à mâchoires indivises ou diodoniennes. Ici le corps est plus ou moins massif, la tête aplatie et obtuse, l'abdomen large et susceptible d'un ballonnement, qui lui donne une forme plus ou moins sphéroïdale. Sur la peau se distribuent, d'une manière partielle ou générale, des productions solides en formes d'épines, enchâssées dans cette membrane par une base radiciforme à deux ou plusieurs branches, quelquefois même par une base polygonale, laquelle demeure enfin dans un cas la seule partie subsistante de l'écaille, et alors les épines sont remplacées par de simples tubercules, ce qui nous ramène aux plaques des Ostracionides.

Enfin les Moles ou Orthagorisques, avec et malgré leurs mâchoires de Diodons, se séparent, je dirais presque s'isolent, de tous les Gymnodontes par leurs formes comprimées, leur queue haute et tronquée, portant une caudale appropriée à sa forme. Ici le revêtement squamoïde varie; il est formé ou de plaques polygonales, ou de tubercules épineux, et se réduit parfois à de simples aspérités.

L'ostéologie vient confirmer cette répartition des Gymnodontes, en donnant à chaque type sa valeur relative, et en nous permettant de les coordonner entre eux.

Le type Triodonien se caractérise ostéologiquement par sa colonne vertébrale, dont les premières apophyses épineuses manquent tout à fait, et dont les suivantes sont indivises; par une pré-

(1) J'en donnerai les caractères histologiques en comparant entre elles les productions squamoïdes des Plectognathes.

dominance marquée du développement de la région antérieure du crâne sur celui de la région moyenne, ce qui ramène l'arc orbitaire des frontaux, et par cela même l'orbite et l'œil à une assez grande distance de la bouche, rappelant un peu ce qu'on voit à cet égard chez les Sclérodermes; par le faible développement vertical et la longueur très médiocre du sphénoïde antérieur, qui, d'une part, demeure à une grande distance de la voûte frontale, et d'autre part est arrêté par l'ethmoïde, assez loin de la mâchoire supérieure; par la disjonction de plusieurs pièces faciales, telles surtout que le jugal à l'égard du tympanique, le ptérygoïdien et ce dernier os, ce qui augmente beaucoup les espaces membraneux des parois temporo-palatines, et par cela même leur mobilité (1).

Quant aux deux pièces de la mâchoire supérieure, l'intermaxillaire se caractérise par une longue apophyse montante, qui va s'articuler avec l'ethmoïde; le maxillaire est encore très petit, et presque effacé par le précédent comme dans la généralité des Sclérodermes.

Le système operculaire se distingue surtout par l'étroitesse et la faible courbure du préopercule (2), réduit à une tige un peu arquée, renflée au milieu, très atténuée à ses deux extrémités. Le système hyoïdien offre un premier rayon branchiotége court, un peu élargi, convexe sur sa face externe, puis quatre arcs branchifères, suivis d'un arc incomplet et abranche ou pharyngien infé-

(1) Je puise les éléments de cette caractéristique du crâne des Triodons dans le mémoire de M. Dareste qui, je l'avoue, laisse beaucoup à désirer en fait de détails, et d'autant plus, que le dessin qui accompagne cet estimable travail est insuffisant, ne donnant qu'un des aspects de la tête et ne montrant pas avec netteté les limites de quelques pièces importantes telles que le palatin, l'ethmoïde, le frontal antérieur, etc.

(2) Ai-je besoin de répéter qu'en rattachant le préopercule aux pièces du battant auquel cet os sert de chambranle, je ne préjuge en aucune manière sa signification, et n'infirme en rien ses relations homologiques avec les arcs, soit mandibulaires soit hyoïdien, non plus que l'autonomie de cet ensemble de pièces, telle que la comprend M. Owen. Je n'ai pas besoin en ce moment de décider une question dont la solution ajouterait peu à la valeur des différences que je fais ressortir. Il n'en sera peut-être pas de même lorsque j'aurai à m'occuper des caractères ostéologiques des Plectognathes en général.

rieur. La queue de l'hyoïde manque. Plus loin et sur la colonne vertébrale, nous rencontrons quelques arcs costaux, comme chez les Balistides, mais attachés pour la plupart au corps des vertèbres, le dernier seul étant porté par une apophyse. Enfin les appendices locomoteurs se caractérisent chez les Triodons par la présence d'une longue pièce pelvienne impaire, semblable à celle des Balistides.

Quand aux Orbes épineux, ils nous offrent plus particulièrement le type ostéologique d'après lequel nous avons fait ressortir les caractères du squelette des Gymnodontes comparé à celui des Sclérodermes. Nous trouvons ici : 1° la bifurcation d'un certain nombre d'apophyses épineuses ; 2° les formes élargies et déprimées du crâne, avec contraction antéro-postérieure des régions occipito-pariétale et ethmo-nasale, puis le développement lamelliforme du sphénoïde, tendant à diviser la voûte sous-frontale ; 3° l'assujettissement du palatin au vomer, le plus souvent par une articulation en mortaise ; 4° l'articulation de la mâchoire supérieure avec ce même palatin seul, et solidement attaché ; 5° le développement relatif plus ou moins considérable du maxillaire, en même temps qu'un élargissement des arcades dentaires ; 6° l'étalement lamelliforme du préopercule, d'où la forme rectangulaire de son bord postérieur ; 7° la conversion du premier rayon branchiostége en une lame repliée sur elle-même, et qui vient s'étendre sous la gorge et offrir une large surface horizontale pour l'attache d'un grand muscle hyoglosse ; 8° enfin trois arcs brachifères, suivis de deux arcs abranches incomplets, mais longs et étroits.

Les Orthagorisques se distinguent à leur tour, d'abord par la mollesse de leur squelette, dont l'ossification est imparfaite, bien que le tissu osseux présente ici les caractères histologiques ordinaires. Les vertèbres ont tout leur développement ; les apophyses épineuses des antérieures sont dédoublées comme dans le type précédent, et celles des postérieures se portent en arrière pour soutenir, avec le corps long et lamelliforme de la dernière, une série de rayons interépineux, auxquels se suspend la haute et singulière nageoire caudale de ces Poissons. La tête osseuse est plus déve-

loppée en hauteur et en longueur qu'en largeur ; sa face supérieure est occupée par une paire de frontaux très allongés et aplatis, qui se touchent dans une très petite étendue, et s'écartent ensuite beaucoup l'un de l'autre à leurs deux extrémités, abandonnant ainsi la ligne médiane, et laissant entre eux des intervalles que remplit le système ethmo-nasal.

Les pièces faciales sont au complet, mais faiblement attachées soit au crâne, soit entre elles. Le préopercule est étroit ; les pièces de l'opercule sont angulaires, et de peu de surface; l'hyoïde ne porte pas de premier rayon étalé. On retrouve ici la pièce appelée *queue de l'hyoïde* et quatre arcs branchifères. Le système osseux de l'épaule et de toute la nageoire pectorale est très développé en longueur.

Les trois types ostéologiques, représentés par les Triodons, les Orbes épineux et les Orthagorisques, dérivent immédiatement de leur type commun ; ils en sont des modifications directes, mais en même temps des modifications graduées. Ainsi, du squelette imparfaitement ossifié des Orthagorisques, nous passons à celui des Orbes, dont l'ossification est à la fois plus continue et plus achevée; puis nous nous élevons à celui des Triodons, qui joint au même caractère général de consolidation un système appendicial plus complet, rappelant les Balistides par la présence d'un os pelvien et des côtes, et se rapprochant ainsi de la généralité des Téléostéens.

Mais au delà de ces indices de subordination ou de développement sérial, chaque type se sépare des autres, revêt une physionomie spéciale, et suit une direction particulière.

Prenons le type des Orbes épineux, qui, en raison du nombre et de la diversité de ses representants, nous permettra de poursuivre la recherche des caractères fournis par le squelette et leur appréciation. Ici nous trouvons, d'une part les espèces à mâchoires divisées ou tétrodoniennes, de l'autre celles à mâchoires indivises ou diodoniennes.

I. Chez les Orbes tétrodoniens, le dédoublement des apophyses épineuses n'affecte qu'un petit nombre des vertèbres qui suivent l'occipital; dès la quatrième ou la cinquième de celles-ci, les lames

écartées se rejoignent, et reconstituent des apophyses médianes. En même temps, la tête a plus de longueur et se montre même quelquefois assez étroite.

Les pièces du crâne, unies par des sutures, ne laissent nulle part entre elles d'intervalles membraneux. La crête interpariétale est étroite, et souvent tranchante en dessus. La pariéto-temporale forme une ligne de faîte entre deux pentes inégales d'étendue et d'inclinaison, mais dont la postérieure conserve à la région occipitale un peu plus de hauteur dans les Tétrodons que chez les Diodons. En avant, le système ethmo-nasal demeure découvert, et c'est lui seul, par le vomer, qui s'articule avec le palatin.

Quant aux os de la face, au milieu des modifications qu'ils subissent dans le type Tétrodonien, je ne saisis guère d'autre caractère qui distingue ce type du suivant que celui qui résulte du médiocre étalement latéral que présente ici la tête, et du développement relatif plus considérable de ses régions terminales. Le palatin se coordonne au vomer, qu'il doit saisir entre les branches de son bord supérieur prolongé et dédoublé; l'arcade palatine, avec l'os transverse et les pièces de l'aile maxillaire inférieure, forme une paroi solide plus ou moins rapprochée de la verticale. Ce rapprochement conserve aux branches de l'arcade dentaire un écartement médiocre, et le maxillaire supérieur ne se développe que très modérément en arrière et au-dessus de l'intermaxillaire. Enfin on peut remarquer qu'en général la partie articulaire du temporal, quoique de beaucoup la plus développée de cette pièce, permet néanmoins au préopercule qui s'y suspend d'arriver très près du crâne.

Il résulte de cette dernière disposition une situation plus ou moins élevée du système operculaire. Les pièces qui le composent, plus développées chez les Orbes en général que chez les Orthagorisques, le sont surtout chez les Tétrodoniens. Ici l'opercule proprement dit a beaucoup plus de hauteur verticale, et le subopercule borde son extrémité inférieure en arrière comme en avant.

II. Chez les Diodoniens, toutes les vertèbres placées en avant de la dorsale ont leur arc neural élargi, leurs apophyses épineuses dédoublées, et les lames de celles-ci très écartées. Le nombre de

ces vertèbres s'élève à dix; celles qui les suivent, et qui portent la dorsale, dirigent verticalement vers cette nageoire des apophyses entières, longues et étroites; puis sur les caudales, à l'exception de la dernière, nous retrouvons le *spina bifida* des dix premières, seulement avec un écart, qui commence cette fois sur la ligne médiane, en raison de l'étroitesse des corps vertébraux.

Des hémapophyses d'abord simples, étalées, divergentes (transverses inférieures), puis doubles, et composées d'une lame inférieure ou hématale, et d'une lame transverse, se montrent depuis la région de l'anus jusqu'à la fin de la nageoire anale; puis les vertèbres caudales n'offrent de nouveau que des hémapophyses simples, mais formées cette fois par les lames inférieures. Ces dispositions des arcs apophysaires des vertèbres rachidiennes suffiraient déjà pour caractériser le type des Orbes diodoniens; mais elles ne sont en quelque sorte qu'un premier trait d'un caractère général qui affecte tout le reste du squelette, et surtout la tête. Ici se réalise dans toute son amplitude le développement superficiel latéral et excentrique du système osseux.

Cette tendance à augmenter la surface de la charpente du corps, en même temps qu'à éloigner les pièces paires de la ligne médiane, se montre avant tout dans les formes du crâne (1), et dans les relations des éléments qui constituent ses arcs principaux. La coalescence de ces éléments sur la ligne médiane est quelquefois incomplète, et des espaces membraneux des fontanelles se montrent, nous le verrons tout à l'heure, entre des pièces qui se joignaient et s'unissaient par des sutures continues dans le type Tétrodonien.

L'occipital ne fait pas saillie en arrière du crâne comme dans ce dernier type; mais cela tient à l'extrême brièveté, compensée par un très notable élargissement de sa partie basilaire, caractère auquel participe d'ailleurs toute la région postérieure de la base du crâne. Si de cette base, c'est-à-dire du plan inférieur de la boîte osseuse, nous remontons jusqu'à la face ou au plan supérieur, nous sommes d'abord frappés de l'extrême rapprochement de ces deux

(1) Pl. 6, fig. 8.

plans et de leur parallélisme; la dépression générale du crâne arrive ici à son extrême limite. Par une pente courte et rapide, sur laquelle on distingue à peine un occipital externe demi-membraneux, nous atteignons la ligne de faîte, le niveau des crêtes médiane et occipito-temporale. Ce niveau est celui d'une grande surface plane et horizontale placée en arrière de la région orbitaire, et composée : 1° d'un interpariétal, dont la crête, comme écrasée, est plus large que haute ; 2° des deux pariétaux jetés sur les côtés du premier; 3° des frontaux postérieurs, séparés des précédents par un espace demi-membraneux ; 4° enfin des frontaux principaux articulés en suture dentelée sur la ligne médiane, au-devant de l'interpariétal. Le pariétal et le frontal postérieur se portent en dehors à la rencontre d'un mastoïdien assez large pour répondre à ces deux pièces, et creusé d'une fosse qui prolonge la dépression qui les sépare. Celle-ci ferait croire au dédoublement de la seule crête que nous reconnaissions aux Gymnodontes en dehors de l'interpariétal; mais ce n'est là qu'une apparence, ou mieux qu'une des conséquences de l'extension superficielle qui caractérise le crâne des Diodoniens; large ou étroite, développée ou ramassée sous forme d'arête, c'est toujours la crête mastoïdienne seule que nous reconnaissons ici, puisqu'elle aboutit tout entière au mastoïdien.

Le frontal principal se déploie latéralement de part et d'autre en une grande aile, qui va former la région postérieure et principale de la voûte orbitaire, refoulant cette fois le frontal postérieur derrière cette voûte et sur le bord de la fosse temporale, d'où ce dernier os projette horizontalement une apophyse post-orbitaire transversale. Après s'être ainsi étendu en arrière et sur les côtés du crâne, le frontal principal se rétrécit beaucoup, et cela non-seulement par une moindre expansion latérale, mais encore en s'écartant de la ligne médiane, et laissant entre lui et son congénère un espace membraneux qui s'élargit peu à peu, et devient plus ou moins considérable. Le frontal antérieur, qui vient se placer en dehors et au-devant du précédent, est souvent très large. Le système ethmo-vomérien, très réduit et incomplétement ossifié, se retire tout entier sous la region frontale, et ne se découvre un peu que dans l'espace laissé par l'écart des deux frontaux principaux.

Quant aux os de la face, ils participent tous plus ou moins du développement superficiel qui caractérise ceux du crâne. Toute la partie antérieure du palatin, qui s'étend entre le maxillaire supérieur et l'ethmo-vomer, est remarquablement large, et nous venons de voir qu'elle n'atteint son articulation vomérienne qu'en passant sous le frontal antérieur, avec lequel la surface du palatin s'unit même par une suture. Les pièces qui, avec la partie postérieure de cet os, forment la voûte palatine sont excessivement minces, lâchement unies entre elles, et leur direction, très écartée de la ligne médiane, ouvre largement cette voûte. En avant, les deux mâchoires, quoique indivises, écartent leurs branches l'une de l'autre, s'aplatissent et s'étendent en surface; le maxillaire supérieur se déploie en une sorte d'aile qui dépasse de beaucoup la commissure, et se prolonge en arrière, de manière à cacher le jugal (Cuv.) et une partie du préopercule, au moins dans les Diodons les mieux caractérisés.

Le temporal, proportionné supérieurement à l'extension latérale des pièces crâniennes avec lesquelles il doit s'articuler (celles qui fournissent la crête externe), présente un développement initial, qui rejette ici plus bas que chez les Tétrodoniens les pièces suspendues à cet os, le préopercule et l'opercule. Ces pièces subissent en même temps une réduction assez sensible dans leur étendue; le préopercule des Diodons est moins large et moins brusquement courbé en arrière que celui des Tétrodons. L'opercule à son tour, au lieu de prolonger son angle inférieur, se termine de ce côté en s'arrondissant, et le sous-opercule ne borde l'os précédent qu'en avant.

### Résumé.

Les deux groupes d'Orbes épineux que nous indiquent la division ou l'indivision des mâchoires, et quelques différences plus ou moins nuancées des écailles épineuses qui arment ici la peau, sont donc séparés aussi par des différences ostéologiques, et représentent deux tendances distinctes dans le développement du squelette, peut-être même deux degrés.

D'une part, nous avons avec une ossification moins complète,

ou avec des pièces qui laissent entre elles des lacunes membraneuses, un type morphologique caractérisé par la prédominance très prononcée du développement latéral et superficiel sur le développement longitudinal et sur le vertical; en sorte que le dédoublement des apophyses épineuses se généralise; que les lames séparées s'écartent, se jettent de côté, laissent entre elles un large canal; qu'à la tête, la hauteur verticale s'efface plus ou moins et proportionnellement à l'étalement des occipitaux; que les pariétaux sont entraînés sur le plan supérieur formé par les frontaux, et que ceux-ci, après s'être déployés largement à droite et à gauche, rencontrent en avant la branche montante des palatins, qui va chercher au-dessous d'eux un ethmo-vomer arrêté dans son développement antéro-postérieur. Enfin, si nous ajoutons à ces traits la dépression des mâchoires, c'est-à-dire leur faible courbure transversale, combinée avec la soudure de leurs moitiés, puis le prolongement et la grande étendue superficielle du maxillaire supérieur, nous aurons un ensemble de caractères, dont le concours harmonique nous désigne un premier type bien déterminé, le type Diodonien.

En regard, et plus rapproché des formes normales, se place celui des Tétrodoniens avec une ossification plus continue et plus solide, avec un petit nombre de vertèbres affectées de *spina-bifida*, et les autres dans les conditions les plus régulières, quelquefois même pourvues d'apophyses transverses supérieures. Ici le crâne conserve un peu plus de hauteur à la région occipitale, et n'atteint sa ligne de faîte qu'au delà des pariétaux; sa longueur l'emporte sur sa largeur, et en avant le système ethmo-vomérien se dégage et se projette en partie au delà des frontaux. Les mâchoires, fortement repliées sur elles-mêmes, demeurent divisées sur la ligne médiane, et le maxillaire conserve des dimensions médiocres.

Mais chacun de ces types se montre à son tour plus ou moins diversifié, plus même que ne peuvent le faire pressentir les caractères extérieurs, et l'ostéologie nous donnera seule ce que ces

caractères n'ont jamais donné jusqu'à présent une distribution naturelle des nombreuses espèces qui composent les genres Tétrodon et Diodon de Linné. C'est ce que je vais essayer de réaliser pour le premier de ces groupes, celui qui varie le plus au point de vue qui nous occupe, et, en tous cas, celui dont j'ai pu étudier un plus grand nombre et une plus grande diversité d'espèces et de squelettes. Avant d'exposer ici les résultats de cette étude, je crois devoir rappeler les subdivisions que Bibron avait proposées.

### Subdivision des Tétrodoniens.

Lacépède distribuait les Orbes tétrodoniens en deux catégories générales, d'après la considération des formes de la bouche, modifiées par la projection égale ou inégale des deux mâchoires. Il plaçait dans une première série les Tétrodoniens chez lesquels l'une des mâchoires avance plus que l'autre, et en formait deux subdivisions, selon que c'est la mâchoire supérieure ou l'inférieure qui est en saillie ; puis venait une deuxième série, celle des espèces à mâchoires égales. G. Cuvier, tout en conservant le genre linnéen, proposa aussi de le subdiviser, et en répartit d'abord les espèces en trois sections générales, distinguées par des caractères morphologiques. Ainsi il sépara les espèces à tête courte de celles à tête oblongue, et fit une place à part à quelques autres, qui se font remarquer par la présence d'une saillie caréniforme sur le dos, et qui doivent, dit l'illustre zoologiste, se gonfler moins que les autres. Après cette répartition générale, Cuvier subdivise les deux premières sections, l'une en quatre, l'autre en deux catégories, d'après la considération de l'absence ou de la présence, et de la répartition des épines et des tubercules qui défendent la peau ; enfin ne s'arrêtant pas là, il arrive à des subdivisions fondées sur le système de coloration, ce qui lui donne quatre petits groupes d'espèces pour la première catégorie de sa première section (1). Ce n'étaient là cependant que de premières indications générales de différences qui réclameraient tôt ou tard une appréciation plus

(1) *Règne anim.*, t. II, p. 368, note.

exacte, et l'étude plus complète d'une diversité portée bien au delà des limites du groupe générique.

En effet, on ne tarda pas à élever le genre Tétrodon dans la hiérarchie des groupes, et c'est ce que fit entre autres le prince Ch. Bonaparte, qui donna à ces Gymnodontes les noms de *Tetraodontidæ* (1) et *Tetraodontini* (2).

Bibron en fait à son tour une famille, comme il en fait une des Diodoniens, et cette famille des *Tétrodoniens* ne comprend pas moins de quinze groupes, dont voici les noms dans l'ordre qu'il leur assigne : *Promecocephalus*, *Stenometopus*, *Dilobomycter*, *Tetraodon*, *Amblyrhynchotus*, *Aphanacanthus*, *Epipedorhynchus*, *Geneion*, *Catophorhynchus*, *Batrachops*, *Monotreta*, *Dichotomycter*, *Ephippion*, *Xenopterus* et *Rynchotus*.

Le travail de Bibron ne nous donne pas avec ces genres les caractères qui lui ont servi à les établir ; les diagnoses dont la plupart des noms qu'on vient de lire sont accompagnés, ne sont que des signalements, et l'absence de ces diagnoses pour quatre genres prouve que leur auteur avait commencé par chercher des types génériques dans l'organisation elle-même. Or les squelettes dont nous disposons en ce moment et que Bibron avait fait préparer en vue de sa monographie, nous disent, et M. Aug. Duméril nous confirme, qu'ici ce sont les caractères ostéologiques qui ont été consultés, et qui ont fourni les bases de cette subdivision des Tétrodoniens en quinze genres. Nous pouvons donc, sans nous arrêter aux caractères extérieurs qui figurent dans les diagnoses de ces genres, et en nous contentant de rappeler que le plus important de ces caractères, aux yeux de Bibron, était celui que fournit la forme, en effet, très variée des narines, nous pouvons, dis-je, passer à l'examen des différences ostéologiques qui diversifient à son tour le squelette Tétrodonien. Je suis convaincu, comme Bibron, que c'est ici qu'il faut chercher les caractères des subdivisions de ce groupe. Voyons si nous arriverons, quant à celles-ci, aux mêmes résultats que notre savant prédécesseur.

(1) *Saggio di una destribuzione degli animali vertebrati*. 1831.
(2) *Sinopsis vertebratorum systematis*. 1837.

Le premier examen comparatif des squelettes qui font l'objet de cette étude, en met immédiatement hors ligne deux qui se détachent très nettement de la majorité et qui sont en même temps très séparés l'un de l'autre. Ce sont ceux qui ont fourni à Bibron ses genres *Rynchotus* et *Xenopterus*.

1. Une colonne vertébrale remarquablement comprimée, dont les quatre apophyses épineuses antérieures sont seules dédoublées et interceptent un canal qui se rétrécit très rapidement ; une tête conique, à profil antérieur long et rapide, étroite, remarquable par l'élévation verticale et la forme lamellaire et triangulaire de la crête interpariétale, par un frontal postérieur qui jette en avant de sa partie post-orbitaire une apophyse lamelliforme comparable à une épaulette, et qu'on prendrait pour un dédoublement de la paroi postérieure de la voûte orbitaire ; une région ethmo-nasale bien découverte, longue, très atténuée en avant, et qui laisse distinguer, au milieu, l'ethmoïde descendant jusqu'au contact des petites branches montantes de l'intermaxillaire, latéralement, des os du nez linéaires, enfin, entre ceux-ci et l'ethmoïde, le vomer bifurqué dont les branches vont s'articuler avec les palatins ; tels sont les traits ostéologiques du genre *Rhynchotus* (1). Ils se traduisent extérieurement par une forme du corps qui avait depuis longtemps attiré l'attention des zoologistes, forme comprimée, bicone, à laquelle s'ajoutent, comme particularités locales, la présence d'une espèce de saillie carénée à la naissance du dos, puis des narines simples réduites à une petite cupule superficielle à ouverture unique et sans bordure. Tel est le *Rhynchotus Peronii*, Bibr., auquel se rattachent plusieurs autres espèces plus ou moins bien ou mal décrites et figurées.

2. Une colonne vertébrale de vingt-sept vertèbres, dont quatre affectées de *spina bifida* à très faible écartement, tandis que de la septième à la vingt-deuxième règnent de longues apophyses épineuses très légèrement inclinées en arrière ; au-dessous de cette partie du tronc, la présence d'une dorsale ou épiptère de plus de trente rayons, inférieurement celle d'une anale ou hypoptère à

(1) De Ρυγχος, museau. — Pl. 6, fig. 1 et 1 *a*.

peu près aussi longue; une tête dont la région frontale représente un écusson beaucoup plus long que large, arrondi en avant, plus étroit et terminé carrément en arrière, en même temps que prolongé dans cette direction par une lame interpariétale qui achève une ligne de profil à peu près plane ; cette espèce de plate-forme formée d'abord par les frontaux postérieurs, qui se réunissent sur la ligne médiane et se placent, par une large apophyse postorbitaire, lamelliforme et plane, au même niveau que les frontaux principaux ; ces derniers, limités latéralement par les frontaux antérieurs, qui achèvent seuls l'aile orbitaire, commencée par une sorte de pilier que fournit le frontal postérieur; enfin une région ethmo-nasale courte, mais bien découverte, qui présente sur ces côtés des os du nez bien distincts, en forme de croissant, très étroits, puis un ethmo-vomer bifurqué par une large échancrure antérieure dans laquelle se logent les branches montantes du prémaxillaire, sans atteindre la clef de cette voûte : tels sont les caractères ostéologiques du genre *Xenopterus* (1). Ce second type générique n'est représenté que par une espèce, le *Xen. Bellangeri*, Bibr.

3. Nous mettons au troisième rang dans l'ordre des types qui s'éloignent le plus de la forme générale celui qui a fourni à Bibron son genre *Batrachops* (2). Il contraste avec le précédent par le peu de développement que présente la région frontale. Les frontaux postérieurs, rejetés sur les côtés et séparés de la ligne médiane par les principaux, conservent de grandes dimensions, s'étendent d'abord beaucoup d'avant en arrière, en formant des parois crâniennes latérales très inclinées, puis se terminent par une aile orbitaire horizontale en forme de corne courbée en arrière. Les frontaux principaux se réduisent à une bande longue, étroite, inégale, qui va de l'interpariétal à l'ethmoïde sans atteindre le bord orbitaire. Celui-ci est complété par des frontaux antérieurs directement en rapport avec les postérieurs, et qui rentrent dans

(1) Ainsi nommé à cause du caractère insolite des nageoires dorsale et anale. Pour ce type ostéologique, voy. pl. 5, fig. 2 et 2 *a*.

(2) Pl. 5, fig. 3.

les dimensions proportionnelles et les formes les plus ordinaires. L'ethmoïde est bien découvert, ne manque pas de largeur, et s'avance jusqu'à l'articulation palato-vomérienne. Le temporal est remarquable ici par la présence d'une grande crête qui s'élève en dehors de son articulation fronto-mastoïdienne, et domine la région operculaire. Nous ne trouvons, comme représentant de ce troisième type, que le *Tetr. psittacus* Bl. Schn., ou *Tetr. perroquet* de Lacépède, dont la mâchoire supérieure est un peu plus avancée que l'inférieure.

4. Une région frontale plus large que longue, étalée latéralement en ailes orbitaires horizontales ou faiblement inclinées, formée essentiellement par des frontaux principaux dont le développement en avant et sur les côtés refoule en arrière les frontaux postérieurs, et les réduit aux proportions d'une simple bordure; des frontaux antérieurs très diminués aussi, quoique conservant leur forme et surtout leur position ordinaires : tels sont les traits les plus caractéristiques d'un quatrième type céphalique. Bibron le divisait et distinguait ici deux genres, ses *Dichotomyctères* et ses *Tetraodons;* mais les différences qui distinguent ces groupes sont trop légères et leurs caractères communs trop en saillie pour que nous puissions accepter cette division ; on nous permettra donc de ne voir ici qu'un genre, auquel nous proposons de donner le nom de *Brachycephalus* (1).

5. Très près du type précédent, mais distinct de lui, se trouve le genre *Monotreta* de Bibron (2). Ici les trois frontaux composent une région large, trapézoïdale, un peu plus étalée en arrière qu'en avant, à bords orbitaires à peine un peu fléchis, presque droits. Les occipitaux couvrent presque la partie avancée de l'interpariétal, et bientôt après se développent largement à droite et à gauche. Les frontaux postérieurs forment encore une bordure étroite en arrière des principaux, et se dirigent presque transversalement en dehors. Les antérieurs ont leur angle antérieur externe mousse, et continuent le plan principal. L'ethmo-nasal, court et

(1) Pl. 6, fig. 4.
(2) Pl. 6, fig. 5.

large, se dégage à peine des frontaux. Enfin, la mâchoire supérieure, courte, déprimée, étalée latéralement, rappelle le caractère que nous lui avons reconnu sous ce rapport chez les Diodons.

6. Enfin les espèces les plus nombreuses du genre linnéen qui nous occupe se laissent ramener à un type qui, en raison de son importance numérique, peut être considéré comme représentant la forme générale et la tendance caractéristique du groupe entier, en même temps qu'une forme très distincte des précédentes. Nous rencontrons ce sixième type avec ses proportions moyennes chez plusieurs des genres de Bibron, notamment chez les Dilobomyctères.

La région frontale, toujours plus longue que large, est plane au voisinage de la ligne médiane, fléchie d'avant en arrière sur les parties latérales où le frontal antérieur prend sa part dans la composition des ailes orbitaires, et forme le sommet de la voûte, mais en rentrant plus ou moins, et laissant plus en saillie les frontaux postérieur et antérieur. Le premier, muni ou non d'une apophyse postorbitaire, qu'il dirige vers le mastoïdien, donne à la voûte de l'orbite une lame triangulaire ou tout au moins terminée en pointe en dehors et en arrière, plus ou moins inclinée dans ce dernier sens, et achevant la courbe que commence en avant le frontal antérieur. Celui-ci offre des dimensions très diverses, mais toujours une forme triangulaire avec un angle principal dirigé en dehors et en avant. La région ethmo-vomérienne a une tendance marquée à s'allonger, laissant à son point de départ des lames nasales plus ou moins évidentes, puis découvrant l'ethmoïde, et laissant apercevoir à l'extrémité, et en dessous de celui-ci, le vomer avec les branches plus ou moins divergentes qu'il engage dans la mortaise du palatin.

On entrevoit dans cette caractéristique des différences qui portent surtout sur la largeur des ailes orbitaires, sur la part que le frontal principal prend à leur composition, enfin sur la longueur de la région nasale. Ces différences permettent tout au plus, tant elles se graduent, d'établir des coupes sous-génériques, et nous ne pouvons accorder d'autre valeur aux groupes que Bibron a

proposés pour les Diodoniens de notre dernier type. C'est à celui-ci qu'appartiennent les genres *Dilobomycter*, *Aphanacanthus*, *Amblirhynchotus*, *Stenometopus*, *Geneion*, *Epipedorhynchus*, et *Promecocephalus* (1). Nous les réunissons sous la dénomination commune d'*Apsicephalus* (2).

Nous venons de voir que les différences les plus générales et les plus saillantes qui diversifient le type tétrodonien portent sur le développement et les formes générales de la vertèbre sphéno-frontale, plus spécialement sur les trois frontaux. Les modifications qui affectent en arrière les vertèbres sphéno-pariétale et occipitale se réduisent à des détails peu importants, et se refusent à une généralisation, en raison de leur extrême variabilité. Quant à la vertèbre ethmo-vomérienne, bien qu'elle se déploie plus librement que les deux postérieures, nous ne pouvons la faire entrer en ligne de compte qu'autant qu'il s'agit d'un type qui s'éloigne des formes les plus normales et qui renferme peu d'espèces. Et comme c'est aux différences de développement de cette région du crâne que se rattachent les variations des narines, il suit de ce que nous venons de dire que ces variations ne peuvent atteindre la valeur de caractères génériques (3).

Dans quel ordre se coordonneront nos six types génériques tétrodoniens? Je crois qu'en prenant en considération les formes qui s'éloignent le plus de celles des Diodons, pour se rapprocher

(1) Pl. 6, fig. 6, représentant une tête du sous-genre *Dilobomycter* de Bibr. Nous n'avons pas les squelettes des genres *Ephippion* et *Catophorhynchus*. Dans les Promécocéphales, la longueur et les formes de la région ethmo-vomérienne varient d'une espèce à l'autre et offrent des passages à d'autres groupes.

(2) De κεφαλὴ, tête, et ἀψὶς, cintre.

(3) En effet, si dans les genres *Rhynchotus*, *Monotreta* et *Xenopterus*, les narines offrent un caractere susceptible d'entrer dans la diagnose, il n'en est plus de même pour les autres genres de Bibron. Les *Dilobomyctères* et les *Promécocéphales*, qui offrent le même type sphéno-frontal, diffèrent considérablement par leurs narines, superficielles et lobées chez les premiers, cupuliformes chez les seconds. D'un autre côté, les espèces de notre troisième type ont les narines cupuliformes, plusieurs des sous-genres du sixième, et les espèces du cinquième les ont plus ou moins semblables à celles des Dilobomyctères.

du développement vertical des autres Plectognathes, nous devons partir du genre *Rhynchotus;* il représente bien évidemment une forme supérieure. Remarquons qu'ici les frontaux postérieurs se rencontrent sur la ligne médiane, au-devant de l'interpariétal, qu'ils atteignent celui-ci, qu'ils jettent une lame apophysaire sur et en arrière des orbites ; enfin que le frontal antérieur, plus long que large, entame très haut la largeur du frontal principal.

Nous retrouvons des caractères analogues dans le genre *Xenopterus*. Ils s'y présentent avec une exagération qui donne aux frontaux postérieurs la grande moitié de la région frontale, qui partage le bord orbitaire entre eux et les frontaux antérieurs, qui couvre enfin la fosse temporale d'une apophyse postorbitaire équivalente à la moitié du frontal postérieur. Par ces traits, notre deuxième type, si spécial qu'il soit morphologiquement aussi bien que par le nombre de ses vertèbres et par sa longue dorsale, se rattache au précédent. Mais en même temps, il échange les formes élevées et étroites de celui-ci contre les formes déprimées qui vont prévaloir chez tous les autres. A partir d'ici, le frontal principal montre une tendance marquée à gagner par sa partie antérieure les bords de l'orbite.

Il ne les atteint pas encore, et demeure même assez étroit chez les *Batrachops*. Ici la prédominance est encore au frontal postérieur, comme dans les *Xénoptères*, mais avec des formes qui annoncent déjà le type *Apsicephalus;* c'est-à-dire que le frontal postérieur passe de la fosse temporale, où il occupe une place considérable, à la voûte de l'orbite, en donnant à celle-ci une lame triangulaire et fléchie, dessinant avec le frontal antérieur une orbite à bord rentrant, et prolongée, en arrière comme en avant, par des angles saillants.

Cette forme se complète dans le genre *Apsicephalus* par l'arrivée du frontal principal jusqu'au bord de l'orbite, où il refoule en arrière le frontal postérieur ramené à des proportions plus normales. Ici nous avons une voûte bien cintrée, dont le bord externe est plus ou moins rentrant, selon que le frontal principal, qui en forme la partie moyenne, sort ou rentre lui-même plus ou

moins. Ainsi, notre sixième type devient le quatrième dans l'ordre gradué des modifications qui nous conduisent de l'un à l'autre.

Quant aux types *Brachycephalus* et *Monotreta*, il est facile de voir qu'ils se placent d'eux-mêmes à la suite du précédent, en portant plus loin que lui le développement latéral des frontaux principaux, en diminuant encore celui des frontaux postérieurs, en modifiant par cela même d'une manière notable et la voûte orbitaire, et toute la forme de la tête, de telle sorte que celle-ci arrive chez les *Monotreta* à un degré de brièveté et d'expansion latérale qui nous annonce une limite inférieure voisine du type Diodonien.

Si le genre *Tetraodon* de Cuvier forme six groupes ostéologiques qui résument sa diversité la plus générale, mais qui sont loin d'épuiser cette diversité, nous ne pouvons moins que de donner à ces groupes la valeur de genres. Dès lors, nous devrons regarder leur ensemble, ou comme une tribu, ou comme une famille, selon l'importance des caractères qui séparent les Tétrodons des Diodons. Or, comme ces différences s'effacent presque à la limite inférieure de la série tétrodonienne, nous nous bornons à diviser les orbes épineux en deux tribus ou sous-familles sous les noms de *Tétrodoniens* et de *Diodoniens*, et ces deux tribus composeront pour nous une seule et même famille sous le nom de *Sphérosomes* (1).

Dès lors les Orthagorisques prendront place à leur suite comme famille, et sous le nom d'*Ellipsosomes*, tandis que les Triodons représenteront une troisième famille (la première quant à son rang) sous celui de *Loganiosomes*, qui rappelle son fanon si caractéristique.

Que devient alors l'ensemble des Gymnodontes? Un sous-ordre, si les *Plectognathes* doivent demeurer comme série naturelle, question que nous chercherons à résoudre dans un prochain travail dont nos études successives des Balistides, des Ostracionides et des Gymnodontes viennent de nous donner les éléments. Je

(1) Lacépède les avait nommés Sphéroïdes.

termine celui-ci en résumant, sous forme de tableau, les coupes que nous venons de déterminer.

| Sous-ordre | Familles : | Tribus : | Genres. |
|---|---|---|---|
| *Sous-ordre des* GYMNODONTES. | LOGANIOSOMES ou Triodoniens. | | |
| | SPHÉROSOMES. . . | Tétrodoniens. . | *Rhynchotus* . . BIBR. |
| | | | *Xenopterus*. . . BIBR. |
| | | | *Batrachops*. . . BIBR. |
| | | | *Apsicephalus* . . NOB. |
| | | | *Brachycephalus*. NOB. |
| | | | *Monotreta* . . . BIBR. |
| | | Diodoniens. | |
| | ELLIPSOSOMES ou Orthagorisciens. | | |

---

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE 5.

Fig. 1 et 2. Formes et structure des productions squamoïdes des orbes épineux.

Fig. 1. Épine à base trichotomique. *a*, sa base; *b*, coupe transversale montrant les couches concentriques et les éléments rayonnants qui caractérisent la structure de l'épine.

Fig. 2. Squame à base polygonale d'un Tétrodonien.

Fig. 3. Squame à plaque tuberculée des Éphippion de Bibr., vue par ses deux faces : l'inférieure est remarquable par le développement de l'écaille sur les côtés d'une tige ou racine première. *a*, structure des tubercules de la même écaille, montrant des couches superposées traversées par des canalicules de dentine.

Fig. 4. et 5. Mâchoire de Tétrodon. La matière éburnée, qui ne se découvre, fig. 4, qu'à la marge de la mâchoire, se montre découverte fig. 5, et partagée en strates que traversent verticalement des failles irrégulières.

Fig. 6-10. Série des vertèbres d'un *Apsicéphale* du sous-genre *Promacocéphale* de Bibr., le *Tetrod. lævigatus* Linn. La première, fig. 6 et 6 *a*, montre le dédoublement des apophyses épineuses : sur les suivantes, fig. 7 et 8, on voit se modifier ces apophyses ramenées à leur simplicité, et se développer les apophyses transverses à la base de l'arc neural; les dernières, fig. 9, sont remarquables par leurs apophyses hématales; enfin, la vertèbre terminale, fig. 10, l'est par sa modification caractéristique.

Fig. 11. Vertebres dédoublées des Diodons, pour montrer que l'arc neural persiste et que le dédoublement ne porte que sur la neurépine.

Fig. 12. Profil d'une tête d'Apsicéphale du sous-genre *Promococéphale* (encore le *Pr. lævigatus*). Entre autres détails qui se rapportent à la description générale du type céphalique des Tétrodoniens, on voit ici l'articulation à mortaise du palatin et de l'ethmo-vomer.

Fig. 13. Les trois pièces de l'opercule du *Diodon hystrix*.

Fig. 14. Branche de l'hyoïde avec les rayons branchiostéges et le premier de ceux-ci converti en une large surface d'insertion musculaire.

## PLANCHE 6.

### TYPES CÉPHALIQUES TÉTRODONIENS.

Fig. 1. Type du genre *Rhynchotus*. *a*, la tête vue un peu de profil pour mettre en évidence la lame de l'interpariétal.

Fig. 2. Type du genre *Xénoptère*. *a*, son occipital postérieur vu en dessous pour montrer l'apophyse postorbitaire.

Fig. 3. Type du genre *Batrachops*.

Fig. 4. Type du genre *Brachycephalus* (sous-genre *Tetraodon*, Bibr.).

Fig. 5. Type du genre *Monotreta*.

Fig. 6. Type du genre *Apsicephalus* (sous-genre *Dylobomycter* de Bibr).

Fig. 7. Face occipitale d'un *Apsicephalus*, comme exemple de l'abaissement vertical du crâne des Gymnodontes.

Fig. 8. Tête du *Diodon hystrix*.

# RECHERCHES HYDRAULIQUES

SUR

# LA CIRCULATION DU SANG,

**Par M. J. MAREY,**
Interne à l'hôpital Cochin.

---

## PREMIÈRE PARTIE.

### INFLUENCE DE L'ÉLASTICITÉ DES TUBES SUR LE COURS DES LIQUIDES A LEUR INTÉRIEUR

(AU POINT DE VUE DE LA QUANTITÉ DE L'ÉCOULEMENT).

Toutes les recherches qui jusqu'ici ont été faites sur ce sujet sont dues à des médecins, et étaient destinées à éclairer la physiologie de la circulation sanguine. L'élasticité est en effet une propriété très développée dans le système artériel, et depuis J. Hunter surtout, son existence n'est plus contestée ; il n'en est pas de même pour son influence sur le cours du sang.

Bichat n'admet aucun effet de l'élasticité artérielle pour la propulsion du sang. Prochaska la considère au contraire comme une *force additionnelle* qui vient seconder l'action du cœur dans l'intervalle de ses systoles. M. Bérard définit le retrait élastique des artères une *force d'emprunt* destinée à continuer le cours du sang dans l'intervalle de deux systoles cardiaques. M. Poiseuille, dans des recherches expérimentales sur l'écoulement des liquides à travers les tubes, a trouvé qu'à égal diamètre et à égale longueur, un liquide qui coule dans un tube élastique se trouve dans les mêmes conditions que lorsqu'il coule dans un tube inerte. M. Maissiat (*Thèse de concours*, 1839) déclare que les recherches sont jusqu'ici insuffisantes au sujet des effets de l'élasticité des tubes sur l'écoulement des liquides. « En effet, dit-il, leur sou-
» plesse permet le redressement des courbes trop brusques qui

» sont des obstacles à l'écoulement; en outre, ces tubes se dila-
» tant par la pression du liquide à leur intérieur, offrent moins de
» frottement par suite de l'augmentation de leur calibre. D'autre
» part, ces mouvements qui se passent dans le tube consomment
» de la force; il y a donc des avantages et des inconvénients dans
» les effets de l'élasticité des tubes sur le cours des liquides. »
L'auteur que nous citons suppose qu'en somme l'élasticité des artères, dans les circonstances où se trouvent ces vaisseaux, doit être favorable au cours du sang.

Tel est l'état actuel des notions que l'on a sur l'influence de l'élasticité des artères, au point de vue de la quantité de sang que ces vaisseaux laissent passer; mais jusqu'ici les expériences ont été faites *sous l'influence de pressions constantes* comme cause d'impulsion du liquide, ce qui n'est pas la condition dans laquelle se trouvent les vaisseaux, le sang étant lancé par le cœur d'une manière intermittente.

## Expériences.

Il s'agit donc d'instituer des expériences dans lesquelles on comparera l'écoulement produit dans deux tubes semblables pour la longueur et le diamètre, dont l'un sera inerte et l'autre élastique; et de comparer aussi l'écoulement fourni par ces tubes sous une pression constante, et sous l'influence d'*impulsions intermittentes.*

Voici l'appareil dont je me suis servi :

Un siphon S (fig. 1), plongeant dans un vase de Mariotte M, amène le liquide, avec une pression toujours égale, dans l'appareil qui se compose d'une boule B de caoutchouc, munie de deux valvules s'ouvrant dans le sens du courant (fig. 3). (Tout le monde connaît le jeu de ces boules employées dans certains irrigateurs comme pompes foulantes.) Cette boule ne s'oppose nullement au courant régulier lorsqu'elle n'est pas comprimée, et laisse passer le liquide d'un mouvement parfaitement uniforme; elle permet au besoin de transformer ce mouvement égal en une série d'impulsions successives : il suffit pour cela de comprimer la boule à intervalles successifs. L'orifice de sortie de la boule se continue avec

un tube bifurqué T, dont chacune des branches s'ouvre dans un long tuyau, l'un élastique $t'$, l'autre inerte $t$ (1).

Ainsi les deux tubes, inerte et élastique, se trouvent soumis aux mêmes conditions, et il est facile de faire la part de ce qui tient à l'élasticité. Enfin aux orifices d'écoulement, $o$ et $o'$, sont placés des vases destinés à mesurer la quantité de liquide écoulé en un temps donné.

Étant connu l'appareil, voici les expériences que j'ai faites :

L'écoulement établi, j'ai mesuré la quantité de liquide fournie par chacun des tubes sous l'influence de la pression du réservoir élevé, et je l'ai trouvée égale de part et d'autre, comme cela a été vu par tous les expérimentateurs. Il n'en a pas été de même quand, à l'action continue du réservoir élevé, j'ai fait succéder l'action intermittente de la boule de caoutchouc : dans ce cas, en mesurant la quantité de liquide fournie pour chacun des tubes, on trouve une énorme différence *à l'avantage du tube élastique.*

En analysant le phénomène, il est facile de s'expliquer la dépense plus considérable du tube élastique.

Il y a un moyen d'évaluer à chaque instant la quantité de liquide qui entre dans les tubes, c'est de mesurer la quantité d'air qui rentre dans le vase de Mariotte; cet air étant précisément destiné à remplacer le liquide écoulé par le siphon.

Si donc, fermant le tube élastique, nous faisons commencer l'écoulement par le tube inerte seul, nous voyons des bulles d'air entrer dans le vase de Mariotte, *une à une, à des intervalles réguliers* (soit une seconde), et cela jusqu'au moment où l'on arrête l'écoulement, ce qui supprime tout d'un coup l'arrivée des bulles d'air.

Si, au contraire, fermant le tube inerte, on fait commencer l'écoulement dans le tube élastique seul, on voit aussitôt *une série de bulles d'air très pressées* arriver dans le vase de Mariotte, témoignant ainsi que le siphon verse dans le tube élastique une

(1) Comme le tube élastique, par son retrait, avait une tendance à se vider en refluant vers le tube de verre, et à y continuer l'écoulement pendant l'intervalle des pulsations, j'ai adapté à son union avec la branche du tube T une valvule V en anche de basson, qui rend le reflux impossible (fig. 2).

grande quantité de liquide; puis *les bulles d'air deviennent de plus en plus rares*, et se succèdent à des intervalles d'une seconde jusqu'à ce qu'on arrête l'écoulement. Il est alors évident que le tube élastique a reçu, de plus que le tube inerte, toute la quantité de liquide qui correspondait à la série des *bulles d'air initiales* qui rentraient dans le vase de Mariotte, et si supprimant l'afflux, on attend un instant pour que le retrait élastique du tube ait le temps de chasser le liquide qu'il logeait par sa distension, on verra que le tube élastique a fait écouler plus de liquide que le tube inerte. Dans un écoulement intermittent, chaque afflux du liquide s'accompagnera de la rentrée de ces *bulles d'air initiales*, et par conséquent l'inégalité dans l'écoulement par les deux tubes sera considérable.

Le tube inerte offre à l'afflux du liquide une résistance bien plus considérable que le tube élastique, car le liquide aura à vaincre tous les frottements dans le premier tube *pendant la durée de l'impulsion;* et comme les frottements sont en raison directe du carré de la vitesse du liquide, ces frottements offriront une résistance très grande si l'impulsion est un peu brusque. Dans le tube élastique, au contraire, le liquide n'a pas à vaincre toute la résistance des frottements *pendant l'impulsion ;* il a une ressource de plus pour se loger, celle de dilater le tube qui, revenant sur lui-même dans l'intervalle de deux ondées, chasse au dehors ce qu'il avait reçu, et *redevient apte à se dilater* de nouveau. Cet avantage du tube élastique n'ayant lieu qu'à la condition que l'écoulement ne sera pas constant, on comprend comment les expérimentateurs ne l'ont pu trouver dans les conditions de *pression constante* où ils se plaçaient.

### Applications.

Après ce que je viens de dire des effets de l'élasticité des tubes sur la *quantité de l'écoulement*, on est en droit de conclure que l'*élasticité des artères est une propriété favorable au cours du sang dans ces vaisseaux.* En outre, le cœur trouvant moins de résistance à se vider dans les artères par suite de leur élasticité, il s'ensuivra aussi que, dans l'ossification artérielle qui s'accompagne

d'une perte plus ou moins grande de l'élasticité de ces vaisseaux, le cœur rencontrera *un obstacle véritable* à l'accomplissement de sa systole ventriculaire, et, en vertu d'une loi pathogénique bien connue, se trouvera dans les conditions de l'hypertrophie au même titre que dans le rétrécissement de l'orifice aortique. Ainsi *l'ossification artérielle doit amener l'hypertrophie du cœur* (ventricule gauche). C'est un fait vulgaire que l'existence de l'hypertrophie cardiaque chez les vieillards, et c'est chez eux aussi que se trouvent ordinairement les artères ossifiées. Plusieurs auteurs ont signalé cette coïncidence de la lésion artérielle avec l'hypertrophie du cœur, et ont pensé qu'il y a là un rapport de cause à effet. M. Andral (*Clin. méd.*, t. I, p. 62) dit que « la coïncidence » très fréquente des diverses altérations de l'aorte avec l'hyper- » trophie du cœur semble indiquer que les uns contribuent à la » production des autres. » Il semble, d'après cette phrase, que l'auteur hésite pour savoir laquelle de ces deux affections a été primitive.

J'ai cherché dans les *Bulletins de la Société anatomique*, et voici le résultat du dépouillement d'un assez grand nombre d'observations :

A l'article *Ossification des artères*, dans dix cas seulement il est fait mention de l'état du cœur ; sur ces cas :

Une fois seulement, il est dit formellement que l'aorte était ossifiée, le ventricule gauche hypertrophié, les orifices sains.

Sept fois on trouve l'aorte ossifiée, le ventricule gauche hypertrophié ; l'état des orifices n'est pas mentionné. (Ces cas ne m'ont pas paru dénués de signification à mon point de vue, car l'influence des lésions des orifices sur la production de l'hypertrophie du cœur est assez connue pour qu'elle soit toujours recherchée ; et comme il n'en est pas fait mention dans ces cas, il est probable qu'elle n'existait pas.)

Deux fois, enfin, il y avait ossification *très légère* des artères, pas d'hypertrophie du cœur. (Ces deux cas, loin d'être défavorables à ma manière de voir, ne font que l'appuyer ; en effet, puisque c'est par la destruction de l'élasticité que l'ossification aortique agit pour produire l'hypertrophie du cœur, de très légères

ossifications disséminées ne peuvent assez diminuer l'élasticité artérielle pour que l'hypertrophie s'ensuive).

A l'article *Hypertrophie du cœur*, sur quarante et une observations, il en est dix-sept dans lesquelles on trouvait une lésion des orifices (presque toujours rétrécissement aortique). Ces cas ont dû être éliminés, puisque la lésion du cœur seule pouvait avoir amené l'hypertrophie.

Sur les vingt-quatre observations restantes :

Neuf fois il est dit explicitement qu'il y avait hypertrophie du ventricule gauche, ossification de l'aorte, intégrité des orifices.

Neuf fois aussi il y avait hypertrophie du ventricule gauche, ossification de l'aorte, mais il n'est pas fait mention des orifices. (La même raison que j'ai donnée plus haut doit faire supposer que ces orifices étaient sains.)

Six fois il y avait hypertrophie du cœur (ventricule gauche), orifices sains, pas de mention de l'aorte. (Je crois que ces observations, quoique bien incomplètes, ne doivent pas être absolument négligées, car elles se rapportent à des sujets d'un âge avancé, ce qui rend probable chez eux l'existence d'ossifications artérielles.)

### Conclusions.

De ces observations, on peut déduire que, dans dix cas, la relation entre l'hypertrophie du cœur et l'ossification aortique est évidente, car les autres causes de l'hypertrophie du cœur étaient absentes. Si toutes les autres observations ne sont pas éliminées comme manquant de détails suffisants pour servir à la justification de ma manière de voir, elles viennent toutes apporter un certain degré de probabilité à l'influence de l'ossification artérielle sur l'hypertrophie du cœur. Enfin aucune de ces observations ne vient contredire cette influence.

Parmi les pièces présentées à la Société anatomique, offrant l'hypertrophie du ventricule gauche avec ossification aortique, sans altération des orifices, il en est une présentée par M. Herpin (t. XII, p. 49), et que l'auteur a accompagnée de réflexions, dans

lesquelles il dit : « Que, chez les vieillards dont l'aorte est ossifiée, » il a *toujours* vu le ventricule gauche hypertrophié, sans que » l'état des orifices puisse expliquer cette affection du cœur. » Il en conclut à un rapport de cause à effet, l'ossification amenant l'hypertrophie, parce que l'élasticité artérielle, cause d'impulsion du sang, étant supprimée, le cœur doit y suppléer, et cela en vertu d'une sorte de *solidarité* entre les divers points du système artériel.

Il me semble que l'interprétation de l'influence de la lésion artérielle dans ces cas, par une véritable *augmentation de l'obstacle à l'effort systolique du cœur*, rentre mieux dans les idées actuellement reçues sur la cause immédiate de l'hypertrophie que l'opinion d'une *solidarité* non définie entre les différents points du système artériel. Je suis heureux toutefois de m'accorder pour le fait avec M. Herpin, et d'avoir été conduit par des déductions purement physiques au même point qu'un observateur qui y est arrivé sans idée préconçue.

## DEUXIÈME PARTIE.

### INFLUENCE DE L'ÉLASTICITÉ DES TUBES SUR LE COURS DES LIQUIDES A LEUR INTÉRIEUR

(AU POINT DE VUE DE LA FORME DE L'ÉCOULEMENT).

Je viens de montrer comment l'élasticité agit pour modifier l'écoulement dans un tube *sous le rapport de la quantité du liquide écoulé ;* ce liquide étant, toutes choses égales d'ailleurs, versé plus abondamment par un tube élastique que par un tube inerte, sous l'influence d'impulsions intermittentes. Cet effet n'est pas le seul qui se produise dans l'écoulement ; celui-ci est encore modifié *quant à la forme*, et tandis que, dans le tube inerte, l'intermittence se trouve dans l'écoulement comme dans l'afflux du liquide, le tube élastique, au contraire, *transforme* l'afflux intermittent en un écoulement d'autant plus continu et régulier que l'élasticité a été plus mise en jeu.

L'effet *continuateur* de l'élasticité est celui qui a été le mieux vu par les physiologistes. Heinbruck, le premier, a comparé le rôle

de l'élasticité artérielle dans la circulation à celui du ressort d'un double soufflet sur le courant d'air qu'il rend continu. Depuis, on a encore comparé l'effet de l'élasticité artérielle à celui du réservoir d'air d'une pompe foulante. Ces deux comparaisons, également justes, montrent que l'élasticité artérielle est dans la circulation l'*agent continuateur* de l'impulsion du cœur, l'*agent transformateur* de cette impulsion intermittente en un effet continu.

La *transformation est d'autant plus complète* que le tube se dilate plus facilement et plus également sous l'impulsion de l'ondée; en d'autres termes, que *la force élastique* (1) *se fait moins sentir et croît moins rapidement.*

Comme il y a un grand nombre de causes qui font varier la *force élastique*, il est indispensable de les passer en revue.

*A. Dans un tube élastique fermé*, si nous introduisons un liquide sous une pression donnée, on voit :

1° Que *la force élastique croît avec l'épaisseur des parois.*

Donc plus un tube sera mince, plus il sera dilatable sous une même pression.

2° Que *la force élastique croît à mesure que l'élasticité a été plus mise en jeu* (2).

Ainsi si un tube, pour se dilater à 1 centimètre cube, a besoin d'une pression de 4 centimètres de mercure, pour se dilater de 2 centimètres cubes, il aura besoin de plus de 8 centimètres de mercure, et ainsi de suite *jusqu'à la limite d'élasticité du tube* (3). Ainsi jusqu'à une certaine limite, *plus un tube est distendu, moins il est élastique.*

(1) La *force élastique*, comme l'entendait J. Hunter, est la résistance qu'un vaisseau oppose à l'effort qui tend à le dilater. Donc un tube ou un vaisseau très élastique sera celui qui aura très peu de force élastique.

(2) Cette loi est commune à toutes les sortes d'élasticité, à celles de flexion, de torsion, de compression, etc.

(3) A partir de la limite d'élasticité, la force élastique ne croissant plus avec la distension du tube, et décroissant au contraire par l'amincissement progressif de la paroi, celui-ci se dilate en ampoule jusqu'à ce qu'il éclate. (C'est là du moins ce qui arrive pour le tube de caoutchouc.)

La *force élastique* peut être évaluée en mesurant, au moyen d'un piézomètre, la *tension* du liquide contenu. Cette tension n'appartient pas en propre au liquide qui est sensiblement incompressible; elle n'est autre que la force élastique du tube lui-même, transmise et pour ainsi dire réfléchie par le liquide. On peut substituer le mot *tension* à celui de force élastique dans les deux lois que j'ai indiquées plus haut. L'expérience montre une troisième condition qui modifie la tension : c'est la surface du tube, et il faut ajouter cette autre loi :

3° *La tension, pour l'introduction d'un volume donné de liquide dans un tube élastique, est en raison inverse de la surface pariétale de ce tube.*

En effet, lorsqu'un tube a beaucoup de surface, pour effectuer la dilatation nécessaire, chacun des points de cette surface sera distendu d'une faible quantité; sa force élastique sera donc peu augmentée.

*B.* Si, au lieu d'un tube élastique fermé, nous avons à faire à un *tube ouvert,* les choses se passent autrement :

1° *L'élasticité, dans un tube ouvert, n'est sollicitée qu'autant qu'il y a un obstacle à l'écoulement.*

Cet obstacle peut être constitué par les frottements à vaincre, par l'action de la pesanteur, par la viscosité du liquide.

2° *L'élasticité est sollicitée en raison de l'intensité de l'obstacle à l'écoulement.*

On peut facilement vérifier ces lois au moyen de l'appareil suivant :

Un flacon à trois tubulures (fig. 5) est rempli d'eau ; on y introduit un long tube *aa* élastique, en prenant une des tubulures comme orifice d'entrée et l'autre comme orifice de sortie ; la tubulure du milieu reçoit un tube de verre qui plonge dans le liquide du flacon. Chacune des tubulures est exactement lutée sur le tube correspondant. Enfin le tube d'écoulement *b* est coudé, et le tube de verre *v* du milieu l'est à la même hauteur; il se continue ensuite horizontalement, sans quoi l'ascension du liquide du flacon dans la branche médiane eût été gênée par la pression même de la colonne verticale qui se fût formée.

Avec cet appareil, on voit :

Que, sous une même pression, l'*élasticité du tube est d'autant plus mise en jeu que les frottements offrent plus d'obstacle à l'écoulement.* C'est là une loi fondamentale, et de laquelle les autres dérivent. Ainsi on observe également que, lorsque l'impulsion a peu de durée, l'élasticité est beaucoup plus mise en jeu, et le liquide du flacon est plus abondamment déplacé que si la même quantité passait dans un temps plus long; mais cela tient à ce que les *frottements croissent comme le carré de la vitesse des liquides ;* ainsi, dans ce cas encore, la mise en jeu de l'élasticité est proportionnelle aux frottements (1).

*Pour que la transformation d'une série d'afflux intermittents en un écoulement continu, sensiblement régulier ait lieu, il faut que chaque ondée puisse se loger sans augmenter sensiblement la tension dans le tube, et que cette tension soit telle, que toute l'ondée puisse s'écouler avant que la suivante n'arrive.*

A ce moment, dans l'appareil que je viens de décrire, le tube à déversement *v* est le siége d'oscillations très grandes, tandis qu'un manomètre placé sur le tube *b*, vers l'orifice d'écoulement, reste sensiblement au même degré.

## Applications.

Si l'on transporte à la circulation du sang les lois que je viens d'énoncer pour l'écoulement dans les tubes élastiques, on voit déjà :

Que la transformation de l'ondée intermittente que pousse le cœur en un écoulement constant, comme on le trouve dans les capillaires, ne peut avoir lieu qu'à la condition que le sang contenu dans le système artériel prenne une *tension* assez considérable. Or

(1) Remarquons que l'arrivée de l'eau dans le tube de verre de la tubulure médiane V n'exprime que l'augmentation de volume du tube distendu, mais nullement la tension intérieure, et un piézomètre, situé sur le trajet du tube élastique *a*, donnerait des indications toutes différentes. Enfin, dans le cas d'impulsion intermittente du liquide, le piézomètre et le tube à déversement seront tous deux le siége d'oscillations exprimant les variations de volume et celles de tension.

cette tension ne peut exister qu'à la condition d'un obstacle à l'écoulement, et elle existe en *amont* de l'obstacle. Donc le système de petits vaisseaux intermédiaires aux artères et aux veines est le siége de frottements considérables, *principal obstacle* au cours du sang (1). Bernouilli a étudié les lois de la décroissance des tensions dans les tubes par suite des frottements, et a trouvé que, sur un tube *également calibré*, la tension piézométrique diminue d'une quantité constante, depuis le niveau du réservoir élevé jusqu'à l'orifice d'écoulement. Les niveaux piézométriques sont alors sur une même ligne droite qui réunirait ces deux points extrêmes. Si le tube n'est pas également calibré, et si, par conséquent, il n'offre pas partout les mêmes frottements, la décroissance des pressions ne sera plus régulière, et la ligne de niveau des piézomètres sera sinueuse ; *leur niveau restera élevé en amont des plus grands obstacles*, et décroîtra brusquement en aval : c'est le cas du système vasculaire.

*Les expériences de M. Poiseuille*, qui a trouvé une tension sensiblement égale dans tout le système artériel, *montrent que toutes les artères sur lesquelles il a opéré sont situées en amont du plus grand obstacle*. On a fait une objection à l'existence de frottements plus considérables dans les capillaires, la voici : le système

(1) Je ne sais s'il est besoin de dire ici que le principe d'égalité de pression, qu'on trouve souvent invoqué par les physiologistes pour expliquer la tension moyenne sensiblement égale dans tout le système artériel, ne saurait exister dans les vaisseaux, par cela seul qu'il y a courant. Des faits bien simples à constater suffisent à prouver que cette égalité de pression n'existe pas quand le sang circule. Ainsi, lorsque dans l'opération de la saignée, on place une ligature sur le bras en arrêtant le courant veineux, on voit la tension dans les veines augmenter en *amont* de cet obstacle, par la même raison qui fait que la tension artérielle est grande en amont des capillaires, et l'égalité de pression s'établit entre les vaisseaux artériels et veineux, justement parce qu'il n'y a plus de courant, et partant plus d'obstacle dans les frottements.

Si la ligature est serrée assez fortement pour supprimer aussi le cours du sang dans les artères, le courant continue encore, sous l'influence du retrait élastique de ces vaisseaux, et les veines se remplissent jusqu'à ce que les artères se soient assez vidées pour que leur tension ne soit plus supérieure à la tension veineuse. Alors il y a équilibre, parce qu'il n'y a plus de courant.

artériel, dans son ensemble, doit être considéré, au point de vue de sa capacité, comme un cône dont le sommet est au cœur et la base à la circonférence ; c'est-à-dire que la capacité totale des vaisseaux augmente, à mesure qu'on s'éloigne du cœur. De cet élargissement progressif, on a conclu à l'impossibilité de frottements croissants dans des voies de plus en plus larges. Mais il faut remarquer que les frottements sont en raison des *périmètres mouillés* (selon l'expression de M. Poiseuille), et ceux-ci croissant bien plus vite que la somme des sections des petits vaisseaux, *les frottements croîtront dans ceux-ci, malgré l'augmentation de calibre qu'on trouve en additionnant leurs sections.*

Lorsqu'un écoulement est établi dans un tube élastique, *la dépense du liquide est réglée par la tension moyenne dans ce tube*, et croît toujours avec elle. Donc, si l'afflux des ondées intermittentes du cœur devient plus grand, la tension moyenne du sang dans les artères croîtra, et avec elle l'écoulement par les capillaires. Tous deux atteindront un point fixe, quand l'écoulement d'une ondée sera effectué au moment où en arrive une nouvelle.

On voit, d'après ce qui précède, que la manière dont l'élasticité transforme les afflux intermittents en écoulement constant est la même, quelle que soit la forme de la partie élastique comprise entre les orifices d'entrée et de sortie ; mais il y a encore d'autres effets de l'élasticité, tels que la *locomotion artérielle* et le *pouls*, qui dépendent, *en chaque point*, de la tension du liquide contenu, ce qui force à étudier la tension en chaque point d'un tube.

On va voir que la forme tubuleuse modifie la tension *dans les différents points*, et que de même que les pressions constantes sont inégalement réparties dans les tubes où elles amènent un écoulement, de même les impulsions additionnelles intermittentes sont inégalement distribuées dans un tube élastique.

Supposons un tube élastique (fig. 4) décomposé en une série de tronçons successifs *abcd*, l'ondée arrive par l'orifice *o* avec une force représentée par 8. Dans le premier tronçon, cette ondée rencontre une résistance dans la colonne de liquide qui l'occupe déjà, et qui pour progresser trouvera dans les frottements un obstacle *en raison du carré de sa vitesse ;* elle sera donc d'autant

plus difficile à mouvoir que l'impulsion sera plus brusque; mais les parties latérales sont susceptibles de céder, et, d'après ce que nous avons vu, se dilateront en raison même de l'obstacle à l'écoulement. La force de l'ondée sera donc décomposée en deux parties, dont l'une, que je représenterai par 4, servira à dilater et à allonger le tronçon *a*, et l'autre, qui sera aussi de 4, poussera le reste de l'ondée dans le tronçon *b*. Dans le tronçon *b*, nous trouvons la force d'impulsion directe déjà réduite de tout ce que l'élasticité a consommé pour effectuer la dilatation du premier tronçon; cette force directe réduite à 4 sera elle-même décomposée comme la précédente. Une partie égale à 2 dilatera le tube, et le reste poussera du liquide avec une force de 2 dans le tronçon *c*. C'est de la même manière que la force se décomposera dans des tronçons successifs, de telle sorte qu'au bout d'une certaine longueur, l'impulsion directe sera réduite à une quantité infiniment petite.

C'est là ce qui se passe pendant l'afflux de l'ondée, et en considérant celui-ci comme instantané, la forme du tube sera *dans le premier instant* celle d'un tronc de cône, dont la base *oo'* sera à l'orifice d'entrée du liquide. La tension piézométrique de chaque tronçon serait à ce moment suivant une progression décroissante, représentée par la série des chiffres 4, 2, 1, 1/2, etc. Les choses ne restent pas longtemps en cet état, car, dans l'instant suivant, la tension se modifie dans les divers points du tube. Le premier tronçon a reçu tout le liquide que l'ondée devait lui envoyer, et il a atteint du premier coup son maximum de tension ; il n'aura plus qu'à en perdre. Les tronçons suivants, au contraire, n'ont reçu d'emblée qu'une partie de l'ondée, d'autant plus petite qu'ils sont plus éloignés de l'orifice d'entrée ; mais aussi plus ils sont éloignés, plus ils auront à recevoir de force restituée par les tronçons qui les précèdent ; ceux-ci leur envoyant du liquide jusqu'à ce que l'écoulement ait évacué tout ce qui était contenu dans leur dilatation, ou si le tube est fermé, jusqu'à ce que la tension soit en parfait équilibre dans tout le tube. Dans les deux cas, les oscillations des manomètres placés à différents points du tube nous offriront de grandes différences dans leur mode de production.

Ainsi, près de l'orifice d'entrée, le manomètre aura une *ascension brusque* et une *descente lente;* loin de cet orifice, au contraire, l'*ascension prendra une durée* dont la longueur croîtra avec l'éloignement. Dans ces derniers points, en outre, la force, restituée par le tube élastique agissant pendant un certain temps, donnera naissance (tant qu'elle n'aura pas baissé par le retrait du tube) à un mouvement accéléré, soit pour l'écoulement du liquide, soit pour l'ascension de la colonne manométrique; car c'est une loi qui préside aux effets de toutes les forces continues, qu'*elles donnent toutes naissance à un mouvement accéléré.* Aussi verra-t-on la colonne manométrique en ces points, s'élever d'abord d'un mouvement lent et insensible à l'œil sans un point de repère, puis prendre de la vitesse de plus en plus, jusqu'à ce que, par le fait de l'écoulement, la tension baisse, et en même temps la colonne manométrique diminue.

L'augmentation de tension sous l'influence d'une ondée, dans un tube ouvert, n'étant autre chose, en chaque point, que l'excès de l'afflux sur l'écoulement, il s'ensuit qu'à égale impulsion, *la tension sera d'autant plus grande que l'obstacle à l'écoulement sera plus grand lui-même.* On pourra donc faire varier à volonté la hauteur maximum d'un manomètre sur un point du tube, l'élever en augmentant en aval l'obstacle à l'écoulement, l'abaisser en diminuant cet obstacle.

### Des phénomènes qui, dans les artères, dépendent des variations de la tension sanguine.

Nous avons dit plus haut qu'il est deux phénomènes, la *locomotion artérielle* et le *pouls* qui peuvent s'observer en différents points, et qui dépendent de la tension sanguine.

Ces phénomènes varieront dans leur forme comme la tension elle-même, et nous allons voir que les mêmes lois que nous avons données pour les tubes élastiques sont applicables aux vaisseaux sanguins et aux phénomènes qui s'y passent.

### Locomotion artérielle.

Deux formes de locomotion ont été signalées dans les artères : l'une qu'on pourrait appeler *locomotion par impulsion directe*, et l'autre *locomotion par inflexion latérale* des vaisseaux.

La première s'observe sur un vaisseau qui offre un obstacle brusque au courant sanguin. Ainsi, au niveau d'une bifurcation, l'éperon faisant obstacle à l'ondée sanguine, est poussé en avant à chaque pulsation du cœur, et le vaisseau est allongé, pour revenir ensuite sur lui-même en ramenant l'éperon en arrière. Dans la ligature d'une artère au moignon d'un amputé, le même phénomène se passe, et est encore plus frappant, parce que l'obstacle est plus absolu ; on voit à chaque battement du cœur l'artère liée sortir des parties molles, et être portée en avant. Dans ce cas, l'artère sort beaucoup plus du moignon après la ligature qu'avant.

Ici se trouve appliquée la loi ci-dessus énoncée : *Dans un tube à écoulement, la tension en un point est d'autant plus grande, que l'obstacle à l'écoulement est plus grand lui-même au-dessous de ce point.*

La seconde forme de locomotion, ou locomotion *par inflexion latérale*, qui a quelquefois été appelée *locomotion par redressement des courbures*, est un phénomène complexe. De même que la précédente, elle résulte de l'allongement du tube ; ainsi, si un tube ou un vaisseau est rectiligne, il s'y formera, par l'allongement, des courbures, si les deux extrémités ne peuvent se déplacer, et donner lieu au premier mode de locomotion.

Si le vaisseau est un peu courbé, il le deviendra davantage ; mais dans le cas de courbure trop brusque, il y aura tendanc à l'agrandissement de son rayon (cela se passe par un mécanisme analogue à celui qui redresse la courbe dans le manomètre de Bourdon).

Cette seconde forme de locomotion est soumise à la loi que nous venons d'indiquer pour la première, c'est-à-dire qu'un obstacle au cours du sang, au-dessous du point observé, la rend plus sensible.

En effet, le point de l'économie où cette locomotion est le plus apparent, est la face interne du bras chez les sujets qui ont l'artère humérale superficielle ; de plus, pour que le phénomène soit très marqué, il faut que la main soit appliquée derrière la nuque. Or, dans cette position, non-seulement la région est bien présentée à l'observateur, mais aussi la flexion de l'avant-bras comprime les vaisseaux, et amène un obstacle au cours du sang au-dessous du point observé (on peut s'en assurer en cherchant le pouls à la radiale, on le trouve alors très diminué) ; c'est précisément cet obstacle au cours du sang, au-dessous de l'humérale, qui augmente chez elle les maxima de tension, et par suite la locomotion latérale.

Nous allons passer à l'étude d'un autre effet des changements de tension dans les artères : le *pouls*. Ce phénomène aura pour nous bien plus d'intérêt, puisqu'il est exploré tous les jours par le médecin à titre de symptôme des plus importants.

### Du pouls et de son mode de production.

Le pouls est la sensation, perçue par le toucher, de l'inégalité dans la tension du sang d'une artère. Le doigt, pour percevoir cette inégalité de tension, se substitue à la force élastique de la paroi artérielle en déprimant cette paroi, et en faisant perdre au vaisseau sa forme cylindrique, grâce à laquelle tous les points offraient une égale résistance à la tension du sang.

Il est admis aujourd'hui que le pouls à la radiale n'est si facilement perçu que par suite de la facile dépression de ce vaisseau, contre le plan résistant que fournit le radius ; tous les chirurgiens professent que, dans la ligature d'une artère au milieu des parties molles, il ne faut pas espérer que le pouls révélera la position du vaisseau, qu'on peut toucher dans ces conditions sans le reconnaître.

Ce n'est donc pas la dilatation du vaisseau, mais son plus ou moins de dépressibilité sous le doigt qui produit le pouls, et il est facile de mieux analyser le phénomène en produisant artificielle-

ment dans des tubes dépressibles, des pulsations, qui sont identiques pour leur production au pouls artériel lui-même (1).

On peut voir ainsi expérimentalement, que sous l'influence d'afflux liquide intermittent, un tube simplement dépressible, mais non élastique (comme ceux qu'on peut faire en taffetas gommé agglutiné), donne des pulsations, lorsqu'il est déprimé par le doigt contre un corps dur; seulement, dans ce tube, *la pulsation garde les caractères de l'ondée qui la produit;* car l'élasticité seule la peut modifier, et le tube qui n'est que dépressible transmet l'impulsion à la manière des tubes inertes.

Dans un tube élastique, au contraire, le caractère de la pulsation est modifié, comme nous avons vu plus haut que la tension dont il dépend est modifié; *la pulsation est alors moins brève et moins forte que l'ondée.* En outre, dans un point du tube éloigné de l'orifice d'entrée, comme la tension additionnelle se manifeste au piézomètre par une ascension du liquide avec un mouvement accéléré, de même le pouls en ce point consistera dans un soulèvement du doigt, qui, très faible d'abord, prendra ensuite de la force et de la vitesse.

Il résulte aussi de cette modification du pouls par l'élasticité, que le pouls, sur un point du tube éloigné de l'orifice d'entrée, est trop faible à son début pour être perçu par notre toucher imparfait, et qu'il ne devient saisissable pour nous que lorsqu'il a acquis, dans son accroissement accéléré, assez de force et une vitesse assez considérable. *De là un retard* APPARENT *de la pulsation sur l'afflux de l'ondée, du pouls sur la systole du cœur.*

De même que le pouls n'est que la tension additionnelle du cœur qui se retrouve dans les vaisseaux, tant que l'action transformatrice de l'élasticité n'a pas égalisé cette tension, de même aussi, tout ce qu'on a appelé les *qualités du pouls* n'est autre chose que des variétés de forme dans la tension qui le produit, et s'explique très bien d'après les lois de l'hydraulique des conduits élastiques. Nous allons donc donner les expériences, au

(1) Il est impossible, quand on a senti ces pulsations, de douter de leur identité de nature avec le pouls artériel.

moyen desquelles on peut saisir la cause des variétés de forme de la pulsation dans les tubes élastiques, et nous montrerons leur identité de nature avec les diverses formes du pouls artériel.

Voici l'ordre que nous suivrons dans cette étude :

*A*. Des conditions d'*existence* ou d'*absence* du pouls.

*B*. Des circonstances qui augmentent ou diminuent le *retard apparent* du pouls.

*C*. Des conditions qui produisent les différents *caractères cliniques* du pouls.

### *A*. Des conditions d'existence et d'absence du pouls.

D'après ce qui a été dit plus haut, pour que le pouls soit perçu (le cœur battant d'une manière normale), il faut qu'au point observé, l'élasticité de la portion du tube située au-dessus n'ait pas transformé les inégalités de tension en une uniformité sensiblement parfaite.

Si nous expérimentons sur un tube élastique, nous trouvons que cette transformation a lieu dans deux cas :

1° Quand il y a une grande longueur de tube élastique entre l'orifice d'entrée et le point observé;

2° Quand il y a au-dessus du point observé une ampoule élastique considérable.

I. La *longueur du tube* a, comme nous l'avons dit (p. 337), deux modes d'action pour détruire les inégalités : d'abord en multipliant les frottements, ce qui met davantage en jeu l'élasticité du tube au-dessus d'eux; ensuite en augmentant la surface élastique, avec laquelle croissent les effets de l'élasticité.

*Expériences.* — Si l'on prend un long tube de caoutchouc également calibré, et qu'on le mette en communication avec la boule décrite plus haut comme agent d'impulsion, on peut, à chaque afflux d'une ondée liquide, sentir très nettement une pulsation près de l'orifice d'entrée. Cette pulsation se retrouve plus loin, mais elle est plus faible; enfin il arrive un moment où la pulsation n'est plus perceptible, par suite de la distance du point observé à l'orifice d'entrée. A cet endroit, l'élasticité a assez agi pour trans-

former l'impulsion intermittente en un mouvement sensiblement continu.

Dans les artères, la même chose s'observe, et le pouls devient de moins en moins net (à égal calibre du vaisseau), à mesure qu'on s'éloigne du cœur. Les expériences hémométriques, qui servent à mesurer la tension dans différents vaisseaux, viennent confirmer ce résultat, en nous montrant les impulsions additionnelles du cœur décroître à mesure qu'on s'éloigne de cet organe.

II. *La présence d'une ampoule sur le trajet du tube* donne les mêmes effets que la longueur considérable du tube, car elle augmente la surface pariétale en amont du point observé, et par suite l'action transformatrice de l'élasticité.

*Expériences.* — Si, à la jonction du tube de caoutchouc avec la boule impulsive, on place une ampoule de caoutchouc très élastique, on voit que le pouls est supprimé dans le tube immédiatement au-dessous de cette ampoule. Ce fait s'explique naturellement comme le précédent par la transformation de l'impulsion intermittente au moyen d'une grande surface élastique.

La même chose se passe dans le cas d'anévrysme sur une artère; le pouls est alors supprimé sur ce vaisseau au-dessous de la tumeur, et, en tout cas, il est considérablement diminué. Dans certains cas, si les pulsations du cœur sont inégales, les plus fortes seulement produisent une pulsation à l'artère malade; c'est ce qui donne lieu au *pouls différent.* Pour qu'un anévrysme supprime le pouls de cette manière, il faut, on le comprend, que la poche soit assez volumineuse; qu'elle communique largement avec les vaisseaux; qu'elle soit assez élastique; en un mot, qu'elle loge chaque ondée qui lui arrive, sans que sa tension augmente sensiblement.

Cette suppression du pouls par un anévrysme est un fait bien connu, et utilisé dans le diagnostic de cette affection. Ce symptôme important, quand il existe, vient trancher la question toutes les fois qu'il y a doute entre deux artères pour le siége de l'anévrysme. Mais l'interprétation du fait est défectueuse, lorsqu'on attribue cette diminution du pouls à la présence dans la poche, de caillots qui obturent plus ou moins complétement la lumière du vaisseau. Cette cause peut exister quelquefois, et des gangrènes d'étendue

variable viennent trop souvent montrer que la circulation était entravée par la tumeur : mais dans la plupart des cas, l'anévrysme agit par son élasticité comme je l'ai dit, et il n'y a aucun obstacle à la circulation. On a cité des cas d'anévrysmes de l'origine de l'aorte (1) *qui supprimaient le pouls dans toutes les artères du corps*, sans compromettre immédiatement la vie des malades, ce qui prouve bien que la circulation n'en continuait pas moins dans toute l'économie, et qu'il n'y avait suppression du pouls que par suite de la régularisation du cours du sang.

*B.* Des conditions de plus ou moins grand retard apparent du pouls.

Rochoux (2) dit avoir signalé le premier le retard du pouls sur la systole du cœur ; sa découverte a été confirmée par Nick et Despine ; enfin, de nos jours, les auteurs qui se sont occupés du pouls signalent le retard, et fournissent des détails importants sur sa production. Weber (3) a évalué le retard pour les différentes artères, et a trouvé :

| | | |
|---|---|---|
| Pour la sous-clavière. . . . . . . . . . | 8 | tierces. |
| Pour la faciale. . . . . . . . . . . . . . | 10 | » |
| Pour la radiale. . . . . . . . . . . . . . | 15 | » |
| Pour les métatarsiennes . . . . . . . . . | 20 | » |

d'où il suit que le retard du pouls croît à mesure qu'on s'éloigne du cœur.

Nous avons dit plus haut que ce retard du pouls n'est qu'apparent, et qu'il est produit par l'élasticité qui agit de la manière suivante :

A l'instant de la systole ventriculaire, les points très éloignés de l'orifice d'entrée n'ont reçu que très peu de force directe, mais ils reçoivent dans les instants suivants la force restituée par l'élasticité sous forme d'un écoulement accéléré du liquide, et d'une augmentation croissante de tension.

(1) *Moniteur des hôpitaux*, 1857, n° 74, p. 388.
(2) *Dict. en 30 vol.* Art. Pouls.
(3) *De pulsu resorptione et tactu.* Leips., 1834.

Il s'ensuit donc que la pulsation n'est perçue par notre toucher que lorsque la tension additionnelle a acquis un degré suffisant de développement. Or cet accroissement met d'autant plus de temps à se produire, que la force élastique qui lui donne naissance agit avec moins d'intensité et plus de durée; donc les conditions données plus haut comme *favorisant la transformation* augmenteront aussi le retard apparent, et, à mesure que le pouls sera moins sensible, il sera aussi plus retardé. Ainsi, à une grande distance du cœur, et sur une artère affectée d'anévrysme, le pouls, en même temps qu'il sera affaibli, sera aussi plus ou moins retardé (1).

Le tableau, donné plus haut d'après Weber, démontre suffisamment l'influence de la distance du cœur sur le retard du pouls. L'influence des anévrysmes n'est pas moins réelle : Valleix (2) dit que, dans quelques cas, on l'a constatée, mais les recherches ont été bien rarement dirigées de ce côté. Pour notre part, toutes les fois que nous avons exploré le pouls, à ce point de vue, dans le cas d'anévrysme, nous avons trouvé un retard d'autant plus sensible, que la poche anévrysmale était plus volumineuse et plus élastique. Les symptômes fournis par l'affaiblissement, et surtout par le retard plus grand du pouls, nous semblent destinés à rendre de grands services dans le diagnostic des anévrysmes, toutes les fois que la tumeur cachée dans les cavités splanchniques sera peu accessible aux moyens d'exploration directe.

### Recherches expérimentales sur la tension dans les tubes élastiques (destinées à éclairer l'étude des variétés cliniques du pouls).

Dans les recherches faites jusqu'ici sur la tension du sang dans les vaisseaux, deux moyens principaux ont été employés : l'un, mis en usage depuis longtemps, est le *manomètre;* l'autre, d'un usage plus récent et encore peu répandu chez nous, est le *sphygmographe*. Nous allons les passer en revue successivement.

I. Le manomètre, employé pour la première fois par Hales,

(1) Nous allons donner les expériences qui, faites sur les tubes élastiques, nous ont servi à démontrer ce fait.

(2) *Guide du médecin praticien*, t. II, p. 52.

consistait d'abord en un tube ouvert et très long, dans lequel l'ascension du sang lui-même exprimait sa tension. Bien des modifications ont été apportées dans la construction de cet instrument; ainsi Magendie, MM. Poiseuille et Cl. Bernard, l'ont modifié chacun à sa manière. Toutefois il y a encore beaucoup à faire pour que le manomètre devienne un instrument parfait; chacun des instruments modifiés par ces physiologistes a des avantages spéciaux qui doivent le faire employer dans certaines circonstances, et certains inconvénients sont communs à tous. Ainsi pour avoir la tension moyenne du sang dans les vaisseaux, M. Poiseuille a été obligé de noter à chaque oscillation le maximum et le minimum, et de prendre la moyenne. Ces deux points extrêmes variant eux-mêmes, les moyennes variaient aussi à chaque instant, et il fallait encore prendre la moyenne entre elles toutes (1); de là des difficultés tellement grandes dans l'expérimentation, qu'on s'étonne qu'elles aient pu être résolues. Nous avons cherché à apporter aussi notre perfectionnement à l'instrument, et nous avons construit un hémomètre, que l'on pourrait appeler *compensateur*, qui indique de lui-même les moyennes entre des tensions inégales successives.

Disons auparavant que, dans l'évaluation des forces qui élèvent une colonne manométrique, on a fait plus attention à la hauteur maximum à laquelle s'élève cette colonne qu'à la durée de son élévation. Cependant les lois physiques nous apprennent qu'une force quelconque peut se traduire, soit par un grand effet de peu de durée, soit par un petit effet d'une durée considérable, le travail étant le même dans les deux cas. De la façon dont les pressions manométriques sont évaluées ordinairement, il n'est guère tenu compte que de l'intensité de l'effet produit, de la hauteur de la colonne, mais non de la durée de son élévation.

Pour remédier à cette insuffisance des manomètres ordinaires dans cette sorte d'évaluation, nous avons fait intervenir une résistance à vaincre, et cela en augmentant les *frottements*. Les variations de tensions se traduiront alors *en raison de leur durée et de*

(1) Poiseuille, *Journal de Magendie*, t. VIII.

*leur intensité*, par la quantité de frottements qu'elles auront vaincu, c'est-à-dire par le travail qu'elles auront accompli.

Notre appareil se compose (fig. 6) d'un manomètre à air libre et à mercure, dans lequel une partie du tube de communication est constituée par un capillaire très fin (1), la partie qui contient le mercure *m* étant au contraire très large. De l'inégalité de diamètre entre ces deux parties, il résultera que le manomètre mettra un temps très long pour prendre la tension et s'équilibrer (à cause des nombreux frottements que devra subir dans le capillaire *c* la quantité de liquide nécessaire à élever la colonne mercurielle). Nous allons voir comment ces frottements servent à prendre les moyennes entre les diverses tensions.

Nous démontrerons d'abord que, si les maxima et les minima de tension ont des durées égales, la colonne du manomètre s'arrêtera, sensiblement immobile, en un point *moyen* entre les hauteurs que donnerait cette colonne, si l'instrument était en équilibre avec la tension maximum et la tension minimum. Ensuite nous verrons que, si les durées sont inégales pour le maximum et le minimum de tension, le niveau manométrique s'éloigne d'autant plus de la position moyenne que l'inégalité de durée est plus grande.

### Théorème premier.

Lorsqu'un manomètre offre assez de frottement pour que son ascension complète, sous une pression donnée, exige un temps considérable (soit une minute); si la pression n'agit que toutes les deux secondes et pendant une seconde, la colonne manométrique montera avec des oscillations inégales d'abord, mais dont la partie ascendante ira toujours en décroissant et la partie descendante en croissant, jusqu'à ce que ces deux parties soient égales. A ce moment, la colonne ne montera plus, et *la moyenne entre le maximum et le minimum de l'oscillation sera aussi la moyenne entre le zéro du manomètre et le point maximum qu'atteindrait la colonne si la pression agissait complétement.*

(1) La fig. 6 offre trois de ces manomètres dans lesquels le tube capillaire a été coudé pour donner moins de hauteur à l'appareil.

On peut toujours produire dans le manomètre des frottements tels, que le temps nécessaire à l'équilibre soit assez long pour que le parcours de la colonne, pendant les applications et les soustractions de la pression, soit négligeable (1); alors le manomètre sera sensiblement immobile en un point qui exprimera la moyenne entre le zéro et la hauteur maximum de la colonne.

En effet, soit *R* (fig. 7), un réservoir plein d'eau, communiquant par un tube flexible avec le manomètre *T*, par l'intermédiaire d'un tube capillaire *F* (siége de frottements), de telle sorte que le réservoir puisse être porté alternativement en *A* et en *B*, et que, par suite des frottements qui ont lieu en *F*, il faille un temps considérable (soit une minute) pour que les niveaux étant en *B* et *b*, c'est-à-dire à zéro, l'élévation du réservoir en *A* porte le niveau du tube en *a*. Supposons aussi que le réservoir *R* reste alternativement une seconde en *A* et une seconde en *B*, voici ce qui se passera :

Dans la *première seconde*, le réservoir quitte le niveau *B* pour se porter en *A*, le liquide du tube s'élève de *b* en $b^1$ sous l'influence de la pression de la colonne *A B ;* car, puisqu'il faut une minute à ce niveau pour aller de *b* en *a*, il ne parcourra pendant une seconde qu'une partie de sa course $b\,b^1$.

*Deuxième seconde.* Le réservoir redescend en *B* ; alors la colonne $b\,b^1$ tend à faire revenir le liquide vers le réservoir, mais cela en vertu d'une force bien inférieure à celle que la colonne *A B* avait tout à l'heure pour effectuer l'ascension dans le tube; aussi le niveau redescendra-t-il seulement en $b^2$.

*Troisième seconde.* Le réservoir est de nouveau en *A*, et élèverait le niveau du manomètre au-dessus de $b^2$, d'une quantité égale à $b\,b^1$, si le poids de la colonne $b\,b^2$ ne diminuait celui de *A B*, de telle sorte que la pression du réservoir n'est plus que la différence entre les niveaux *A* et $b^2$; aussi la seconde ascension du mano-

(1) Si les frottements étaient trop grands, le manomètre mettrait un temps très long à prendre la tension moyenne, aussi doit-on les ménager de telle sorte qu'il reste de petites oscillations dont la moyenne sera toujours assez facile à prendre.

mètre sera-t-elle moindre que la première, et le niveau viendra en $b^3$.

*Quatrième seconde.* Le réservoir est revenu en $B$ ; la colonne $bb^3$ agit pour produire le reflux, et étant plus grande que $bb^1$, produira un reflux plus grand que $b^1 b^2$ ; ce reflux sera $b^3 b^4$.

*Cinquième seconde.* Le réservoir repasse en $A$, et élève le niveau du manomètre avec une force diminuée de $bb^4 > bb^2$ ; donc l'ascension du manomètre sera moindre que $b^2 b^3$, ce sera $b^4 b^5$.

Pour les secondes successives, on verra donc les ascensions aller en diminuant et les descendantes en augmentant, offrant entre elles des différences de plus en plus petites, jusqu'à ce que l'oscillation soit régulière (ses maxima et minima étant fixes).

A ce moment, l'oscillation sera une petite fraction de ce qu'elle eût été sans les frottements en $F$ ; en outre, sa moyenne sera aussi celle entre les points $a$ et $b$.

En effet, lorsque les oscillations seront régulières, et que l'ascension et la descente du niveau du tube seront égales, il faudra nécessairement que les forces appliquées du côté du tube et du côté du réservoir soient égales ; elles le seront quand le niveau du tube sera au milieu de $ab$. Soit $M$ ce milieu, quand la colonne $AB$ agira pour l'ascension, elle n'aura comme force que la différence de hauteur des niveaux, et comme $bM = 1/2\ AB$, sa force d'action, pour faire monter le liquide dans le tube, sera égale à celle que $bM$ lui-même aura dans le second instant pour produire la descente, quand le réservoir sera en $B$.

### Théorème second.

Avec l'instrument précédemment décrit, *les hauteurs manométriques seront proportionnelles au temps pendant lequel la pression agira* ; c'est-à-dire que la hauteur à laquelle le manomètre restera avec de petites oscillations régulières sera à la hauteur qu'il aurait, dans le cas d'équilibre sous la pression continue, comme les temps d'application de la force sont à la durée totale de l'expérience.

Cela revient à démontrer que, si la pression agit pendant deux

secondes et cesse pendant une seconde, la hauteur manométrique sera les deux tiers de la hauteur d'équilibre.

En effet, quand la colonne sera arrivée au point où les oscillations seront régulières (où les ascensions et les descentes seront égales), il faudra que la force qui produit l'ascension soit deux fois moindre que celle qui produit la descente. A cette condition seulement, l'inégalité de force compensera celle de durée. Mais la force qui produit l'ascension n'est autre chose, avons-nous dit, que l'excès de la hauteur du réservoir sur la hauteur manométrique : soit donc $N$ (même figure), le niveau du manomètre, d'après le théorème précédent, la force ascensionnelle sera égale à $aN$, et $bN$ sera la hauteur manométrique, ou force qui produit la descente. Ces deux forces, au point de vue de leurs effets, seront dans le rapport de 1 à 2 ; mais comme l'effet produit par la pression d'une colonne liquide est proportionnel à la hauteur de cette colonne (1), on aura pour les mesures, de $aN$ et de $bN$, la proportion suivante :

$$aN : bN :: 1 : 2$$

ce qu'il fallait démontrer.

II. Le sphygmographe, inventé en Allemagne d'après la description donnée par M. Vierordt (2), est un levier à bras inégaux : le plus court est soulevé à chaque battement de l'artère ; le plus long trace, sur un cylindre de papier tournant, des courbes variées suivant la forme du pouls.

Nous nous sommes servi de cet instrument avec de légères modifications, comme on va le voir d'après la description de l'appareil qui nous a servi à étudier à la fois les tensions moyennes et les caractères des pulsations, sur trois points différents d'un tube élastique traversé par un liquide, sous l'influence d'impulsions intermittentes.

(1) Dans le cas d'écoulement par les tubes capillaires, *le produit de l'écoulement est proportionnel à la charge* (loi de M. Poiseuille).

(2) *Bulletins de la Société médicale allemande*, 1857.

Description de l'appareil (pl. 7, fig. 6).

Soit un tube de caoutchouc *aaa*, dont l'extrémité *o* s'adapte à la boule impulsive (décrite fig. 3), et dont l'autre extrémité *o'*, orifice d'écoulement, peut recevoir des ajutages de différents diamètres.

Le tube *aaa* est en rapport à la fois avec trois manomètres *compensateurs* destinés à prendre sa tension en différents points, et qui, dans la figure, sont placés les uns à côté des autres sur des plans parallèles. On retrouve sur chacun d'eux les différentes pièces indiquées comme constituant le manomètre *compensateur ;* seulement le tube capillaire a été contourné pour donner moins de hauteur à l'appareil. Les niveaux des colonnes mercurielles se notent sur un papier gradué que l'on place derrière les tubes (fig. 8).

La seconde partie de l'appareil se compose d'un sphygmographe, que nous avons construit d'après la description donnée ci-dessus ; seulement nous y avons adapté trois leviers $l^1$, $l^2$, $l^3$, de telle sorte que la pulsation puisse être prise à la fois sur trois points du même tube.

Un support *S*, monté sur la tablette *T*, porte les trois leviers, à l'extrémité de chacun desquels est une petite masse pesante portant une pointe écrivante.

A chaque mouvement du levier, produit par une augmentation de tension dans le tube, la pointe vient tracer une ligne sinueuse sur un cylindre de papier *C*, mis en mouvement par un mouvement d'horlogerie *H*. Le papier employé est gradué par des lignes qui se coupent perpendiculairement, et dans lesquelles les lignes horizontales servent à compter les hauteurs, et les lignes verticales les durées des pulsations.

Si l'on suit le trajet du tube, on voit qu'après l'extrémité *o* il est en communication avec le manomètre n° 1 qui prend sa tension : immédiatement après, il passe sous le levier sphygmographique $l^1$ qui écrit la pulsation correspondante ; puis le tube se continue pendant un assez grand trajet, après quoi il revient vers le manomètre 2 qui prend encore sa tension. En quittant le second

manomètre, le tube passe sous le levier $l^2$ qui écrit la pulsation. Après un assez long trajet, le tube revient enfin au manomètre 3, puis au levier $l^3$, pour aller se terminer par l'ajutage d'écoulement.

Nous allons voir qu'avec cet appareil on peut connaître en chacun des points du tube la *tension moyenne* et la *forme de la pulsation*.

Ce que nous avons dit plus haut du mode d'action du manomètre compensateur suffit pour faire comprendre comment il prend la tension moyenne.

Pour ce qui est de la forme de la pulsation, deux choses sont à considérer dans la manière dont elle se traduit : 1° le levier oscille, et, si le cylindre *C* était immobile, la pointe écrivante tracerait des lignes sensiblement verticales (1) ; 2° le cylindre tourne, et, si le levier était immobile, la pointe tracerait une ligne horizontale (fig. 9) *a a' a''*.

Quand le cylindre et le levier se meuvent en même temps, il en résulte des lignes obliques, qui se rapprochent d'autant plus de la verticale que le levier va plus vite, ou que le cylindre tourne plus lentement. Réciproquement, ces lignes se rapprochent d'autant plus de la ligne horizontale que le levier va moins vite ou que le cylindre tourne plus rapidement. Cela posé, on conçoit que le cylindre tournant d'un mouvement régulier, si les leviers ne se meuvent pas d'un mouvement semblable, les tracés décrits par chacun d'eux différeront plus ou moins sensiblement.

Enfin si l'oscillation se fait d'un mouvement inégal, *accéléré* ou *diminué*, la ligne tracée ne sera plus une oblique, mais une courbe *concave en haut* dans le premier cas, *convexe* dans le second.

### Première expérience.

Recherches sur les variations dans la tension d'un tube prise sur trois points de son trajet (pl. 7, fig. 8).

1° Si le tube est fermé en *o'* et qu'on fasse agir la pression seule du vase de Mariotte, l'équilibre s'établit dans toute son étendue,

(1) Ces lignes verticales se voient sur les fig. 9 et 11, dans lesquelles une impulsion a été donnée, le cylindre ne tournant pas encore, pour bien s'assurer que les pointes écrivantes sont sur la même verticale.

et les niveaux des trois manomètres sont les mêmes; ils se trouvent sur la ligne *nn* horizontale.

2° Si l'on ouvre l'orifice d'écoulement *o'*, les niveaux manométriques baisseront inégalement, et d'autant plus qu'ils sont plus près de l'orifice d'écoulement (c'est là une conséquence de la loi de Bernouilli sur les tensions piézométriques); dans ce cas, la ligne qui joint ces niveaux sera représentée par *a*, oblique descendante.

3° Si l'on remplace l'ajutage par un autre plus étroit, en vertu de ce que nous savons de l'influence des obstacles, les niveaux s'élèveront, et cela d'autant plus qu'on les prend plus près de l'orifice d'écoulement. La ligne des niveaux est alors en *b*, et l'on voit qu'elle s'élève d'autant plus au-dessus de la précédente *a*, que l'on est plus près de l'orifice d'écoulement. Un troisième ajutage, plus étroit encore, relèvera encore plus la ligne des niveaux qui sera en *c*, et l'élévation portant toujours davantage sur les manomètres les plus voisins de l'orifice d'écoulement, la ligne des niveaux se rapprochera de plus en plus de l'horizontale *nn*, qu'elle atteindra tout à fait, lorsqu'à force d'augmenter l'obstacle on aura tout à fait supprimé l'écoulement.

4° Si l'on replace l'ajutage le plus gros (celui qui a fourni la ligne *a*), et qu'on fasse agir pour l'écoulement du liquide les impulsions intermittentes de la boule *B* (fig. 3); au bout de quelque temps, la ligne des niveaux sera portée en *a'* (les lignes ponctuées indiquent les niveaux obtenus sous l'influence des pressions additionnelles). On remarquera que la ligne *a'* n'est point parallèle à *a*, mais que chaque point de *a'* est d'autant plus élevé au-dessus du point correspondant de *a*, que l'on observe plus près de l'orifice d'entrée.

*Conclusion.* — Cela prouve que la nouvelle force, due à une impulsion additionnelle, se répartit de la même manière que la pression seule du réservoir le faisait tout à l'heure, c'est-à-dire suivant les lois de Bernouilli, de telle sorte que l'effet de cette force est d'autant plus grand qu'on se rapproche davantage de l'orifice d'entrée.

5° Si l'on emploie successivement des ajutages de plus en plus

étroits, comme on l'a déjà vu pour les expériences sur les niveaux dans le cas d'écoulement sous la pression du réservoir, on verra de même les niveaux s'élever de plus en plus, en se rapprochant de plus en plus de la ligne horizontale pour correspondre aux lignes $a'$ $b'$ $c'$, et lorsque l'obstacle à l'écoulement sera absolu, les niveaux seront tous les mêmes, et se trouveront sur la ligne horizontale $n'n'$.

### Deuxième expérience.

Recherches sur la nature et les caractères de la pulsation en différents points d'un tube élastique (fig. 9).

Une pulsation, telle qu'elle est représentée par le sphygmographe, nous offre à considérer différents éléments, qu'il est important de séparer pour leur étude :

1° *Son moment d'apparition ;*

2° *La période d'augment et la nature du mouvement qui la produit ;*

3° *La fin de la période d'augment ou le summum de la courbe ;*

4° *La période de déclin et la nature de son mouvement ;*

5° *La fin de la pulsation.*

#### 1° Moment d'apparition.

Le moment de l'augmentation dans la tension d'un tube, qui était auparavant uniforme, est traduit au sphygmographe par la déviation de la ligne tracée ; celle-ci, qui était horizontale $a\,a'\,a''$ pendant le repos du levier, devient oblique, ascendante, mais avec des degrés d'inclinaison différents. Le point précis où se fait ce changement de direction est plus ou moins facilement saisissable à l'œil, suivant le degré d'obliquité de la ligne tracée ; il est d'autant plus facile à saisir, que la ligne oblique ascendante s'éloigne davantage de l'horizontale. Dans certains cas de concavité de la ligne d'ascension, la première partie de la courbe se confond presque avec l'horizontale, ce qui rend très difficile la perception de son début.

Ajoutons à cela que, si la force qui produit cette augmentation de tension est faible d'abord, puis prend de l'intensité par suite

de sa continuité même, en produisant un mouvement accéléré, le levier sphygmographique ne saurait être soulevé au premier instant. En effet, pour percevoir l'augmentation de tension, il faut, avons-nous dit, déprimer le tube avec une certaine force, c'est-à-dire que si, pour fixer les idées, nous représentons par 100 la pression du liquide à l'intérieur du tube, la pression du levier devra lui être un peu supérieure, soit 105. Il s'ensuit que la force additionnelle ne pourra soulever le sphygmomètre *dans le premier instant*, que si elle est supérieure à 5 à ce moment ; ou si elle est inférieure à ce nombre, elle ne le soulèvera que lorsque, dans sa marche croissante, elle aura acquis une force égale à 5, ce qui exige un certain temps.

La figure 9 représente trois lignes sinueuses superposées, dont chacune est formée par les oscillations d'un sphygmographe : l'inférieure est tracée par le sphygmographe le plus rapproché de l'orifice d'entrée, la ligne du milieu par le sphygmographe $l^2$ (figure 6), et la plus élevée, n° 3, par le dernier sphygmographe.

Si l'on examine sur chacune de ces lignes la première oscillation, on voit que les débuts de l'ascension du levier semblent se faire de plus en plus tôt, à mesure que la pulsation est prise plus près de l'orifice d'entrée ; mais on voit aussi que l'angle, sous lequel la ligne d'ascension se sépare, est d'autant plus ouvert qu'on est plus près de l'entrée du tube ; aussi ce point est-il sur la ligne n° 1 plus facile à percevoir que partout ailleurs.

Si à cette cause d'erreur, dépendant du degré d'obliquité de l'ascension, nous ajoutons (ce que nous avons signalé plus haut), que le levier ne peut être soulevé que lorsque la force additionnelle a acquis une intensité plus grande que la force qui déprimait le tube, on se rend très bien compte du mode de production du retard dans l'ascension qu'on trouve sur certains tracés sphygmographiques.

Il reste à prouver qu'*il n'y pas de retard réel*, et pour cela nous avons eu recours à un moyen plus sensible que le levier sphygmographique : à l'oscillation d'un manomètre à liquide peu dense, et offrant le moins de frottements possibles.

*Expérience.* — Prenons un long tube élastique adapté, d'une part, à un réservoir élevé, et d'autre part finissant par un tube de verre vertical placé à la hauteur du réservoir. Lorsque les niveaux sont en équilibre, notons avec un point de repère le sommet de la colonne de liquide. Si, alors, nous comprimons brusquement le tube élastique, il est toujours impossible de saisir le moindre retard entre l'instant où le tube est comprimé, et celui auquel la colonne liquide s'élève dans le tube de verre.

Sans point de repère, au contraire, on ne peut percevoir, surtout d'un peu loin, la légère ascension du début, et le mouvement ascensionnel, qui, dans ce cas, est manifestement accéléré, n'est saisissable qu'au bout d'un certain temps.

2° Période d'augment de l'oscillation, nature du mouvement qui la produit.

Aussitôt que la ligne sphygmographique s'élève au-dessus de l'horizontale qu'elle traçait lors de la tension uniforme aux points *a a' a''*, on voit qu'elle décrit deux courbes constituant dans leur ensemble une *s*, et formée par une première partie à concavité supérieure, et une seconde à convexité supérieure, reliées entre elles par une portion rectiligne plus ou moins courte.

La première partie *concave* exprime, avons-nous dit, *un mouvement accéléré;* elle est produite par l'augmentation de tension qui, faible au début, va en augmentant de force; mais comme tout mouvement accéléré trouve dans les frottements un régulateur qui le ramène à un type uniforme, il s'ensuit qu'à un moment donné, la force ascensionnelle devient uniforme, et son tracé est représenté par une ligne oblique, mais rectiligne. Enfin la force d'impulsion décroît, et par suite du courant, l'excès de l'afflux sur l'écoulement, c'est-à-dire la tension diminue, et la ligne *courbe convexe*, qui est l'expression du *mouvement diminué*, succède à la partie rectiligne, jusqu'à ce que l'écoulement excédant l'afflux, la tension commence à baisser.

3° Summum de la courbe, point intermédiaire à la période d'ascension et à celle de déclin de l'oscillation.

Dans cette dernière période, par suite de la diminution du mouvement d'ascension, celle-ci arrive à être nulle, puis l'écoulement agit seul, et la tension baisse. Entre la période d'augment et celle de déclin, le sphygmographe reste fixe un instant très court (comme cela arrive pour un pendule entre les deux moitiés d'une oscillation). A ce moment, la rotation du cylindre étant le seul mouvement qui se produise, la pointe écrivante trace une ligne horizontale très courte, et qui, à la rigueur, ne serait qu'un point géométrique, mais que nous admettons théoriquement comme expression de la tension maximum.

La *hauteur* de cette ligne au-dessus de l'horizontale que traçait le sphygmographe avant l'intervention de la tension additionnelle, exprime l'intensité de la force avec laquelle le levier est soulevé, c'est-à-dire l'intensité de la force additionnelle elle-même en chaque point du tube. Or nous voyons que cette hauteur diminue sur chacune des lignes, à mesure qu'on s'élève, en passant de 1 à 3. C'est là une preuve nouvelle de l'inégale répartition de la tension sur toute la longueur du tube, et ce résultat concorde pleinement avec celui que nous ont donné les manomètres (fig. 8), en nous montrant, d'après les hauteurs des colonnes mercurielles, que les impulsions additionnelles se répartissent en décroissant du n° 1 au n° 3 (ce fait résulte de l'écartement plus grand des courbes *a* et *a'* du côté de l'orifice d'entrée, fig. 8).

Quant à la *forme* du sommet de la courbe, elle varie suivant la nature du mouvement du sphygmographe, c'est-à-dire suivant que l'élasticité a été plus ou moins efficace pour transformer l'impulsion de l'ondée. Si l'élasticité a très peu agi, la partie ascensionnelle, presque verticale, fera un angle très accusé avec la partie descendante oblique (comme cela se voit sur le tracé inférieur des figures 9, 10, 11); si, au contraire, l'élasticité a beaucoup modifiée l'impulsion, les deux courbes adossées du sommet donneront l'apparence d'une ligne horizontale.

Quant à la *position* du sommet de la courbe par rapport aux

lignes verticales (qui servent à mesurer le temps), il est facile de voir que ce point se trouve d'autant plus éloigné du commencement de la pulsation, qu'on observe un tracé produit sur un point plus éloigné de l'orifice d'entrée. Les sommets des courbes *b b' b''* sont situés sur des points d'autant plus éloignés, à cause de l'obliquité même de la ligne d'ascension. On voit par là que les pulsations se font toutes en même temps pour leur début, mais que leur maximum est d'autant plus retardé, qu'on est plus loin de l'orifice d'entrée du tube.

### 4° De la période de déclin et de la nature du mouvement qui la produit.

La descente du sphygmographe est constituée comme l'ascension par un mouvement d'abord *accéléré*, puis *diminué;* mais comme ici, le mouvement se fait en sens inverse de ce qui se passait dans la première partie, il se traduit d'une manière inverse. Pour avoir la même expression sphygmographique, il faudrait retourner la figure, et tenir en bas le summum de l'oscillation. Dans la figure en position normale, le mouvement accéléré de descente sera représenté par une ligne courbe, convexe en haut. La dernière moitié de la descente sera un mouvement diminué, car l'écoulement qui en est la cause diminue avec la tension ; sa représentation graphique sera aussi l'inverse de celle du mouvement diminué d'ascension : on aura dans ce cas une courbe à concavité supérieure.

### 5° Fin de la pulsation.

La période descendante de la pulsation peut finir de deux manières différentes : ou bien la tension additionnelle s'éteindra complétement avant qu'une seconde impulsion n'arrive, ou bien une seconde impulsion arrivera, avant que l'effet de la première se soit éteint.

Dans le premier cas, la ligne des minima se trouvera sur l'horizontale inférieure (comme cela se voit au commencement des figures 9, 10, 11). Dans le second cas, les minima se trouvent sur

une ligne ascendante ($a\,b$, $a'\,b'$, $a''\,b''$, fig. 10 et 11), montrant ainsi que la moyenne de tension s'est élevée.

Le sphygmographe peut servir à vérifier les lois données par le manomètre au sujet des tensions.

En effet, nous avons vu que, dans le cas d'augmentation de la tension par accroissement de la fréquence des impulsions, l'accroissement porte surtout sur les points les plus rapprochés de l'orifice d'entrée (cela résulte de l'inspection des lignes $a$ et $a'$, fig. 8 ; la ligne $a'$ étant d'autant plus élevée au-dessus de $a$, qu'on l'observera plus près de l'orifice d'entrée). Si, dans les expériences sphygmographiques, nous augmentons la tension en rendant les impulsions plus fréquentes (fig. 10), on voit que la ligne des minima devient ascendante, et par conséquent que la tension moyenne augmente ; mais on voit aussi que cette augmentation, très sensible sur le tracé du sphygmographe 1, va en décroissant jusqu'au troisième, ce qui montre bien que l'augmentation de tension, résultant de la plus grande fréquence des afflux, porte principalement sur les points rapprochés de l'orifice d'entrée du tube.

Le manomètre nous a appris aussi que, dans le cas d'accroissement dans la tension par un plus grand obstacle à l'écoulement, l'augmentation porte surtout sur les points rapprochés de l'orifice d'écoulement (cela résulte, fig. 8, de l'élévation de la ligne $b$ au-dessus de $a$, d'autant plus qu'on observe plus près de l'orifice d'écoulement). Si, dans les expériences sphygmographiques, sans rien changer à la fréquence des impulsions, on rend l'écoulement plus difficile, en plaçant à l'orifice de sortie un ajutage plus étroit (fig. 11), on voit que l'augmentation de tension, indiquée par l'ascension de la ligne des minima $a\,b$, $a'\,b'$, $a''\,b''$, est d'autant plus grande, qu'on observe sur un tracé plus près de l'orifice de sortie.

Enfin nous avons dit que les pulsations pouvaient être supprimées par une grande surface pariétale élastique située en amont du point observé, et nous expliquions ainsi la suppression du pouls par un anévrysme. Pour ne pas nous borner à cette constatation par le toucher, nous avons adapté au tube de notre appareil une ampoule de caoutchouc entre le premier et le deuxième sphyg-

mographe ; nous avons vu alors (fig. 12) que la pulsation est totalement supprimée sur les tracés 2 et 3, formés en aval de l'ampoule *A*, et, de plus, que la pulsation est considérablement modifiée en amont, sur le tracé 1. En ce point, le levier n'est soulevé qu'un instant très court par les maxima de tension. On conçoit, en effet, que, par suite de la présence de l'ampoule, l'ondée qui afflue n'a plus au-devant d'elle la même résistance qu'autrefois, et que, par le plus facile écoulement, elle ne doit plus exercer la même pression latérale pour dilater le tube. Celui-ci ne sera donc distendu que par les maxima de tension, comme cela se voit sur la ligne 1, et tout le reste du temps il retombera à la ligne de minima.

Je n'insisterai pas davantage sur les modifications que les tracés sphygmographiques peuvent subir dans différentes conditions, ni sur l'utilité de bien connaître leur signification hydraulique, pour comprendre la signification clinique des tracés sphygmographiques recueillis sur l'homme dans diverses maladies, ce sera l'objet d'une étude à part, qui, déjà tentée en Allemagne, me semble devoir être reprise dans des conditions toutes nouvelles.

FRAGMENTS ANATOMIQUES

SUR

# QUELQUES ÉLATÉRIDES,

**Par M. Léon DUFOUR.**

---

Avant moi, Ramdohr avait fait connaître le canal digestif seulement de l'*Agriotes sputator* (1). J'ai publié dans mon *Anatomie des Coléoptères* (2) l'organisation viscérale des Élatérides suivants : *Lacon murinus, Elater sanguineus, Agriotes gilvellus ;* je vais y ajouter *Ludius ferrugineus.*

Stein (3), dans un travail spécial sur les organes génitaux femelles des Insectes coléoptères, a décrit et figuré ces organes dans les suivants Élatérides : *Elater æneus, Diacanthus holosericeus, Athous hirtus, Ectinus aterrimus.*

C'est là, je crois, tout ce que le scalpel a révélé sur cette populeuse famille des Élatérides.

Dans mon écrit actuel, je vais exposer, avec quelques détails comparatifs, l'appareil génital femelle du *Sanguineus*, et surtout un organe annexé à cet appareil, et dont les attributions physiologiques ont été diversement interprétées.

## Article Ier. — Ovaires.

Chaque *ovaire* du *Sanguineus*, loin d'être bilobé comme celui du *Murinus*, consiste, ainsi que ceux du *ferrugineus*, du *Gilvellus*

(1) *Traité sur les organes digestifs des insectes.* Halle, 1811.

(2) *Ann. des sc. nat.*, 1824.

(3) Je ne connais point encore l'ouvrage de Stein, qui date de 1847, mais je dois à l'obligeance de mon ami, M. Laboulbène, les calques relatifs aux organes femelles de la génération des Élatérides cités plus haut.

et d'autres espèces, en un seul faisceau de *gaînes ovigères*. Sa forme s'accomode, pendant la vie, à la cavité abdominale, qu'il remplit plus ou moins suivant la période de sa gestation. On y compte une trentaine de gaînes sexloculaires avec un *ovulaire* oblong conoïde. Chaque femelle du *Sanguineus* peut donc pondre environ 360 œufs ; ceux-ci à terme sont oblongs et blanchâtres.

Le *calice* de l'ovaire est cupuliforme, son col fort court, et on ne le rend sensible que par une traction en sens contraire. L'*oviducte*, fort court aussi, s'implante au-dessous de la poche copulatrice.

Les gaînes ovigères du *Murinus*, du *Ferrugineus* et du *Gilvellus*, ne sont que bi- ou triloculaires, et leur nombre est d'un tiers moins considérable que dans le *Sanguineus*.

Qu'il me soit permis de mettre la nomenclature et la physiologie de cet appareil génital en regard de celles de quelques auteurs modernes. Et puisque les mots sont destinés à exprimer les choses, il convient, pour s'entendre, d'en fixer rigoureusement la valeur, et de la justifier tant par l'étude des organes que par celle des fonctions.

Ma nomenclature date de 1824, et je n'ai pas cessé de la suivre depuis. Ainsi la dénomination de *gaîne ovigère* indique un tube, une gaîne conoïde renfermant les œufs dans leurs différents degrés de développement. Elle peuvent être uni-, bi-, tri- ou multiloculaires : elles ont une conformité de fonction avec un *utérus*. Ce serait un utérus polydactyle. Von Siebold les appelle des *tubes ovariques*.

J'ai donné le nom d'*ovulaire* à un organe qui a peu fixé l'attention des entomotomistes de l'époque. Il n'est pas saisissable dans tous les insectes, mais il l'est parfaitement dans les Elatérides : il précède la gaîne ovigère dont il fait partie. Il ne paraît point tubuleux comme celle-ci, ou s'il renferme une cavité, je ne l'ai pas constatée ; il est, je crois, le réceptacle des germes des œufs ou des *ovules*. Ceux-ci, lors de l'acte copulatif, s'ébranlent, se détachent, et descendent dans les *locules* de la gaîne pour s'y développer successivement et y devenir *œufs à terme*. A mes yeux, l'ovulaire a son analogue dans l'*ovaire* des Vertébrés.

Le *calice* de l'ovaire a des fonctions bien déterminées : il est destiné à recevoir et à conserver un certain temps les œufs à terme, jusqu'au moment de leur descente dans l'oviducte et de leur expulsion.

Mais il existe entre le calice et l'oviducte un conduit, fort court dans les Élatérides, dont la connivence avec son congénère forme l'origine de l'oviducte : c'est le *col du calice*. Il a sa conformité organique avec le *col de l'utérus* des animaux supérieurs. Il y a sur ce point d'anatomie un désaccord synonymique fort singulier dans les auteurs : Stein désigne ces cols sous le nom, malheureusement inspiré, de *trompes*. Notez que ces cols terminent en arrière l'organe qui tient lieu de matrice, tandis que les *trompes de Fallope*, auxquelles Stein fait allusion, précèdent au contraire l'utérus dans les Vertébrés. Von Siebold, lui, faussant l'acception, appelle ces mêmes cols *deux oviductes* (*Anat. comp.*, I, p. 619). Avec tous les auteurs qui m'ont précédé et qui me suivent, j'ai nommé *oviducte* un conduit *unique*, destiné à transmettre hors du corps les œufs à maturité provenant des deux ovaires. C'est lui que Malpighi et Lyonet ont appelé le *tronc des ovaires*. L'oviducte est en même temps le *vagin*, et c'est encore une conformité organique avec les Vertébrés.

### Article II. — Appareil spécial annexé aux ovaires.

J'avais jadis (1824) décrit et figuré dans le *Murinus* et le *Gilvellus* un petit appareil spécial d'élégante composition, annexé aux ovaires, et dont les fonctions avaient laissé dans mon esprit malaise et incertitude. A l'exemple de Malpighi et de Swammerdam, j'avais qualifié cet appareil de *glande sébifique*. Je présumais qu'au temps de la ponte des œufs ceux-ci pouvaient être enduits ou isolément ou ensemble, par un produit de cette glande ; je soupçonnais même que ce produit pourrait avoir quelque chose de *sérifique*.

Depuis l'époque reculée de cette publication, j'ai plus et mieux étudié cet organe non-seulement dans d'autres espèces d'Élatérides, mais dans un grand nombre d'insectes où sa configuration varie à l'infini.

Je décrirai d'abord cet appareil dans le *Sanguineus*, où il présente un type anatomique nettement caractérisé; j'exposerai ensuite celui d'autres Élatérides.

Le *Sanguineus* vit à l'état de larve, comme à celui d'Insecte parfait, sous les écorces et dans le bois pourri du Pin. Mon ami Perris en a publié les métamorphoses avec ce tact observateur et cette habileté qui le caractérisent (*Ann. Soc. ent.*, 1854). C'est en 1845 que je me livrai à cette dissection.

Ce petit appareil est enchevêtré de trachéoles, de ramuscules nerveux et de sachets adipeux, qui en rendent les parties mutuellement adhérentes, et plus ou moins agglomérées.

La *poche copulatrice*, qui, dans la plupart des Coléoptères, est placée sur un côté de l'oviducte, est ici si largement assise, qu'elle semble recevoir l'oviducte. Ce dernier, ainsi qu'on peut le voir dans la figure, se confond avec lui, de manière que la verge et son armure doivent y entrer directement. Cette poche se fait remarquer par sa grandeur, sa forme et sa consistance calleuse et roide ; elle est allongée, cylindroïde, courbée sur elle-même, marquée à la convexité de sa courbure de deux séries longitudinales et parallèles de gros points bruns qui semblent tenir à la texture intérieure, et dénoter quelque chose de coriace ou de corné. La raison d'être de ces points demeure encore problématique pour moi ; ils correspondent, sans doute, sous des formes très différentes aux *plaques cornées* de Stein.

La courbure de la poche copulatrice se termine en avant par un bout libre, où s'implante un organe que j'appelle provisoirement et par discrétion l'*arbuscule*, sans lui donner une épithète physiologique. Cet arbuscule consiste en un faisceau de filets tubuleux subcapillaires, mais déprimés, rameux, à rameaux peu nombreux, tous d'un calibre uniforme et d'une texture homogène. La loupe y fait voir une pulpe blanche (blonde ou obscure au microscope) qui en suit toutes les ramifications, et qui partout est identique. Je n'ai point constaté la connivence de ces filets en une souche commune ; mais je crois à l'existence de celle-ci. Il importe surtout d'établir comme un fait l'implantation de cet arbuscule au bout de la poche, et je la trouve réitérativement consignée dans les

procès-verbaux de mes autopsies, ainsi que dans les croquis à l'appui.

Mais indépendamment de ces organes, il existe dans le *Sanguineus*, de chaque côté du trajet de l'oviducte ou de l'oviscapte (car je n'ai point rigoureusement déterminé *ex visu* ce mode de connexion), une longue bourse subclaviforme, c'est-à-dire insensiblement renflée en massue avec un col d'une ténuité capillaire. Cette bourse a une conformité parfaite de structure avec les branches de l'arbuscule. Sa tunique est diaphane, et renferme une pulpe blanche identique à celle de ce dernier.

Je vais maintenant rappeler, dans l'intérêt d'une étude comparative, ce que le scalpel m'a permis de constater dans d'autres Élatérides sur cet organe accessoire.

L'arbuscule du *Lacon murinus* est totalement différent du précédent pour sa configuration, qui est d'une élégance recherchée. Malgré sa date de 1824, je reproduis ici la figure originale de tout l'appareil génital femelle. Cet arbuscule se compose de trois branches, dont les divisions dichotomiques offrent une dilatation axillaire triangulaire. Ces dilatations communiquent entre elles par deux filets tubuleux d'une finesse extrême, et les terminales ont ces filets flottants. L'intérieur des branches, tant des triangles que des filets, offre la même pulpe ou blanche, ou obscure, dont j'ai parlé dans le *Sanguineus*. Un coup d'œil sur la figure en dira plus qu'une minutieuse description.

Les trois branches de cet arbuscule confluent à un conduit commun assez court, lequel s'abouche à une *poche copulatrice* obronde, de consistance calleuse, et de peu de capacité quand on la compare à celle du *Sanguineus*. La poche s'implante par un col court à la partie inférieure de l'origine de l'oviducte. On voit sur son disque un tube capillaire roulé sur lui-même en spirale, et à son bord antérieur quelques petits tubercules ou inégalités.

L'arbuscule du *Gilvellus* ressemble par la ténuité de ses rameaux à celui du *Sanguineus ;* mais ces derniers sont moins nombreux Il aboutit à un conduit capillaire, assez long pour se replier sur lui-même, et s'insérer pareillement à une poche copulatrice. Celle-ci est obronde, à parois épaisses, avec une tache circonscrite

brune, qui semble indiquer une texture cornée intérieure. Cette tache isolée rappelle la double série de points brunâtres du *Sanguineus*, et je la vois désignée dans les figures de Stein sous le nom de *plaque cornée*.

J'ai jadis décrit et figuré dans le *Gilvellus* une paire de bourses en massue incurvée, analogue à celle du *Sanguineus*, mais plus grosse, et dont les insertions se rapprochent de l'origine de l'oviducte. Du reste, je me défie encore pour ces connexions de mon scalpel d'alors.

Ces bourses ne m'ont point paru exister ni dans le *ferrugineus*, ni dans le *murinus*.

Dans le *Ludius ferrugineus*, l'arbuscule a une configuration et une structure fort originales, mais qui, en définitive, témoignent d'une conformité organique avec ce même appareil dans les Élatérides en général. Il se divise en trois grandes expansions membraniformes, blanches, irrégulièrement allongées, avec des filets marginaux, qui leur donnent l'aspect lacinié de certains *fucus*. Étudié à la loupe et au microscope, cet arbuscule présente entre ses deux lames ou tuniques cette pulpe blanche ou obscure dont j'ai déjà parlé.

Les trois expansions sont confluentes en arrière, et là on voit naître brusquement un conduit assez long, subcapillaire, flexueux, qui va s'insérer à un corps, faut-il dire à un *réservoir*? profondément bilobé. Les lobes de ce corps, dans leur état normal, sont adossés, contigus l'un à l'autre ; c'est près du bout interne de l'un d'eux que s'implante le conduit subcapillaire dont je viens de parler.

Les deux lobes confluent en arrière pour s'aboucher à une sorte de bourrelet circulaire simulant une articulation, et dépendant d'un col gros et court qui se fixe à l'origine de l'oviducte.

Comme je n'ai disséqué qu'un seul individu de ce rare *Ludius*, il y a déjà vingt-sept ans, je n'ai pas la prétention d'avoir, malgré une scrupuleuse dissection, tout vu et bien vu.

Les figures de Stein, consacrées à l'appareil annexé aux ovaires des Élatérides, présentent des branches si confusément étalées, que je n'ai pas pu ou su saisir les rapports respectifs, les con-

nexions des parties constitutives. Ces branches, dans les quatre espèces disséquées par l'auteur, ont de l'analogie pour la forme avec celles du *Sanguineus*, et ne ressemblent pas du tout avec celles du *murimus* et du *ferrugineus*.

Voyons maintenant le jugement physiologique qu'il est permis de porter sur cet annexe des ovaires. En faisant l'aveu d'avoir jadis appelé *glande sébifique* l'ensemble de cet appareil, comprenant et la poche copulatrice et l'arbuscule, j'ai laissé entrevoir une conviction encore flottante.

L'arbuscule serait pour Stein et von Siebold le *réservoir séminal* (*receptaculum seminis*), et les auteurs se fondent sur l'existence, après fécondation, de spermatozoïdes dans l'intérieur des branches de l'arbuscule. J'ai grande confiance dans ces savants et habiles anatomistes : j'accepte ces spermatozoïdes comme un fait positif, et j'en comprends toute la valeur. Je consens donc, toutefois sous bénéfice d'inventaire, à substituer le nom de *reservoir séminal* à celui d'*arbuscule;* mais j'en laisse à ces auteurs la responsabilité physiologique.

Quand je considère le développement et la complication singulière de l'arbuscule du *murinus*, ainsi que l'identité de sa pulpe incluse, je me sens peu porté à le croire un réservoir séminal, et je me laisse entraîner à ma vieille idée, qui est celle de Malpighi, d'un *organe sécréteur*, d'une *glande*.

Mes doutes redoublent encore à l'aspect de ces longues bourses simples, que j'ai dit s'insérer à l'oviducte du *Sanguineus*, et dont la pulpe intérieure a la plus parfaite identité avec celle des branches de l'arbuscule. C'est peut-être ces bourses que von Siebold appelle *glandes sébifiques*.

Et qui n'aurait pas l'idée d'un canal *excréteur* à la vue de ce conduit grêle et long qui, dans le *ferrugineus*, va s'implanter à l'un des lobes du corps, que j'ai appelé *bilobé?* Ce lobe où débouche ce canal ne mérite-t-il point le nom de *réservoir*, tandis que l'autre lobe pourrait bien être une poche copulatrice?

En résumé, le plus prudent est de suspendre une technologie définitive jusqu'à plus ample informé du scalpel.

## EXPLICATION DES FIGURES.

### PLANCHE 8.

(TOUTES CES FIGURES SONT CONSIDÉRABLEMENT GROSSIES.)

Fig. 1. Appareil génital femelle de l'*Elater sanguineus :* *a*, un ovaire avec ses *gaines ovigères;* *b*, *calice* avec les œufs; *c*, *cols* de l'ovaire; *d*, *oviducte;* *e*, *poche copulatrice;* *f*, *arbuscule* de l'organe annexé, *réservoir séminal* de Stein; *gg*, *bourses* allongées, claviformes de l'oviducte ou de l'oviscapte: *h*, portion de l'intestin; *ii*, étui commun à l'oviscapte, à la poche copulatrice, à l'intestin; *jj*, faisceaux musculaires coupés; *k*, dernier segment dorsal de l'abdomen; *ll*, plaque sous-jacente ciliée; *mm*, tiges biarticulées de l'oviscapte exsertes forcément, avec le rectum entre elles; *nn*, *tentacules vulvaires* d'un seul article terminé par deux poils.

Fig. 2. Gaîne ovigère détachée, avec ses six locules : *a*, *ovulaire* avec son ligament propre.

Fig. 3. Un *œuf* isolé.

Fig. 4. Portion plus grossie de l'arbuscule avec sa pulpe incluse.

Fig. 5. Une *bourse* claviforme détachée.

Fig. 6. Appareil génital femelle du *Ludius ferrugineus :* *a*, *gaines ovigères* biloculaires et les *ovulaires ;* *b*, *calice* de l'ovaire ; *c*, *col* de l'ovaire ; *d*, *oviducte ;* *e*, arbuscule de l'organe annexé avec ses trois expansions membraniformes; *f*, conduit excréteur de l'arbuscule ; *g*, *réservoir* bilobé, avec les lobes adossés, avec le bourrelet circulaire de son insertion à l'oviducte ; *h*, fourreau commun à l'oviducte, à l'oviscapte, à l'intestin ; *i*, dernier segment dorsal de l'abdomen écarté de sa position ; *jj*, deux muscles allongés coupés, fixés à une masse charnue basilaire ; *k*, filet noir corné, bordé de tissu musculaire et fixé au dernier segment abdominal ; *l*, pièces de l'oviscapte terminées par les deux *tentacules vulvaires* lancéolés ; *m*, portion d'intestin.

Fig. 7. Portion isolée de l'organe annexé aux ovaires : *a*, portion de la connivence des trois expansions membraniformes de l'arbuscule ; *b*, conduit excréteur; *c*, *réservoir* formé par l'un des lobes du corps bilobé ; *d*, l'autre lobe, pris pour la poche copulatrice; *e*, portion du col de celle-ci.

Fig. 8. Appareil génital femelle du *Lacon murinus :* *a*, un ovaire bilobé ou à deux faisseaux ; *b*, le col coupé de l'autre ovaire ; *c*, arbuscule de l'organe annexé à l'ovaire; *d*, oviducte ; *e*, portion intestinale ; *f*, dernière plaque dorsale; *g*, ligament suspenseur de l'ovaire; *h*, poche copulatrice avec un filet spiroide; *ii*, peut-être les corps analogues aux bourses claviformes du *Sanguineus ;* *k*, *ovulaires ;* *l*, tentacnles vulvaires.

Fig. 9. Portion encore plus grossie de l'arbuscule.

## NOTE SUR LE *MELANDRYA SERRATA*,

PAR M. LÉON DUFOUR.

Le *Melandrya* est un Coléoptère hétéromère, que Latreille avait jeté pêle-mêle dans sa famille des *Ténébrionites*, et que plus tard on en a séparé, avec raison, pour le colloquer dans celle des *Serropalpes*. Il n'est pas commun dans nos contrées ; on le trouve parfois sur les vieux aunes ; c'est dans les troncs pourris de cet arbre que vit sa larve. Je n'ai encore eu occasion de soumettre au scalpel qu'un seul individu, et c'était une femelle au mois d'avril 1839.

Les trachées sont toutes tubulaires ou élastiques.

### Appareil digestif.

J'ai constaté bien positivement l'existence de *glandes salivaires*, consistant pour chaque côté en un vaisseau simple d'une ténuité capillaire, subdiaphane, flexueux, atteignant le métathorax.

Le canal de la digestion a deux fois la longueur du corps de l'insecte.

L'*œsophage* est d'une excessive brièveté. Le *ventricule chylifique* est cylindroïde, presque droit, parfaitement lisse à l'extérieur. Il se prolonge jusque vers le milieu de la cavité abdominale. L'*intestin* est filiforme, flexueux. Le *cœcum*, qui s'en distingue par une légère coarctation, est oblong, brusquement distinct d'un *rectum* cylindrique qui l'égale en longueur.

Ainsi que dans le plus grand nombre des Hétéromérés, les *vaisseaux hépatiques* sont au nombre de six, à insertions ventriculaires et cæcales. Atténués et incolores vers celles-ci, ils grossissent ensuite, et prennent une teinte jaune. Les insertions cæcales ont lieu par deux conduits isolés, formés chacun de trois vaisseaux, et implantés séparément à l'origine inférieure du cæcum.

### Appareil génital femelle.

Les *ovaires* sont fort gros, vu l'exiguïté de l'Insecte ; ils se composent d'une quantité innombrable de *gaînes ovigères* multiloculaires. Le *calice* et le *col* sont courts. L'*oviducte*, dont on ne saurait apprécier la véritable longueur qu'en le dégageant de l'étui parcheminé qui lui est commun avec le rectum, a assez d'étendue. Il présente vers son milieu, d'un côté, et c'est le côté gauche, une *poche copulatrice* ovalaire sessile ; de l'autre côté, une bourse oblongue munie d'un col, et qui appartient sans doute à la *glande sébifique*.

Les *œufs* sont oblongs et blancs.

## NOTE SUR LE *CEBRIO CARRENOI*.

Latreille avait compris le genre *Cebri* dans la famille des *Malacodermes*. Depuis lui, des entomologistes mieux ravisés ont créé pour ce groupe une famille spéciale, celle des *Cébrionides*. Les *Cebrio* forment en réalité un groupe en dehors des *Malacodermes ;* ils se rapprochent plutôt des *Élatérides*.

M. Lefébure de Cerisy a le premier découvert la larve singulière du *Cebrio gigas*, larve allongée, qui a des traits de ressemblance avec celles des *Elater*, mais dont elle diffère par d'autres caractères. M. Guérin-Méneville a donné de la publicité à cette découverte, tandis que MM. Chapuis et Candeze en ont fait connaître la description et l'iconographie dans leur excellent livre sur les larves des Coléoptères.

Le *Cebrio Carrenoi* a été acquis à la science par mon ami le professeur Graells (de Madrid), qui en a publié et figuré les deux sexes dans les *Annales de la Société entomologique*, 2e série, tome IX.

C'est en juillet 1854 que j'ai soumis au scalpel trois individus mâles de cette espèce pris aux environs de Madrid, et disséqués à cette époque.

Je ne me dissimule nullement le besoin de nouvelles autopsies; mais dans la prévision du contrôle, je ne balance point à mettre au jour mes recherches, quelque imparfaites et fragmentaires qu'elles soient.

Les trachées sont toutes tubulaires ou élastiques.

Le système nerveux a trois ganglions thoraciques et six abdominaux, dont le dernier est du double plus grand que les autres.

## Appareil digestif.

Il ressemble plus à celui du *Telephorus* qu'à celui des *Elater*.

Le tube alimentaire a deux fois environ la longueur du corps de l'insecte. L'*œsophage* est court et fin, sans aucune apparence de jabot ni de gésier. Le *ventricule chylifique* est à peu près droit, cylindroïde, uni, lisse, sans échancrure à son origine. L'*intestin* a une ténuité capillaire telle qu'on peut le confondre avec un vaisseau biliaire; il est reployé en une anse. Le *cæcum* n'en est point distinct par une contracture, mais seulement par un plus grand diamètre. Le *rectum* qui le suit est grêle.

Il n'existe que quatre *vaisseaux hépatiques* à bouts libres comme dans le *Telephorus*, et non en forme de deux grandes anses comme dans les *Elater*.

Je n'ai rien trouvé dans les *contenta* du canal digestif qui pût indiquer l'espèce de nourriture que prend le *Cebrio*.

## Appareil génital mâle.

A l'époque où j'ai disséqué les trois individus mâles du *Cebrio Carrenoi*, ils se trouvaient dans une condition remarquable de turgescence séminale peu favorable à l'isolement des organes constitutifs, qui se trouvaient par ce fait tellement confondus et agglomérés, que le moindre contact de la pince les crevait, et dérangeait toutes les positions respectives.

Les *testicules*, précisément à cause de leur turgescence et de leur tendreté, ont éludé, quant à leur composition positive, mon

scalpel et mes yeux ; ils m'ont semblé formés par deux pelotons de *capsules spermifiques* globuleuses ; c'est tout ce que je puis en dire.

J'ai constaté, comme d'ordinaire, deux paires de *vésicules séminales :* l'une, la *principale*, plus grosse, plus courte, plus blanche, en forme de massue courbée en crosse à son gros bout ; l'autre, plus ou moins déjetée en arrière, est d'abord renflée, courbée, puis s'atténue en une extrémité filiforme. Le *canal éjaculateur* est blanc, assez gros, cylindroïde, de médiocre longueur.

Le *fourreau de la verge* est allongé, brun-marron, déprimé, obtus, et comme tronqué en arrière.

(*La suite de ces fragments paraîtra dans le prochain cahier.* R.)

# DES ALTÉRATIONS

QUE LES

# MOLLUSQUES LAMELLIBRANCHES ET GASTÉROPODES

OPÈRENT PENDANT LEUR VIE

SUR LES COQUILLES QU'ILS HABITENT,

**Par M. Marcel DE SERRES.**

Professeur à la Faculté des sciences de Montpellier.

Plusieurs Mollusques lamellibranches des eaux douces et marines, ainsi que des Gastéropodes des mêmes stations, ou qui habitent les terres sèches et découvertes, présentent presque constamment leurs *nates* usés, ou les premiers tours de leurs coquilles entamés ou manquant entièrement. En observant la constance de ces effets, on se demande à quelle cause on doit les attribuer, et quels avantages les animaux qui habitent ces coquilles peuvent en retirer.

La plupart des Mollusques lamellibranches ont en effet leurs *nates* plus ou moins usés, ainsi qu'une partie de leur test, surtout les parties les plus saillantes de leurs coquilles. Ces habitudes communes chez les *Unio*, les Anodontes, les Irridines, les Hyries, les Galathées, les Castalies, les Cyrènes et les Cyclades, le sont du reste sur presque tous les genres des mêmes stations.

Il en est du moins ainsi des Anodontes du Brésil, des Fleuves de la Confédération argentine, des Irridines de la Chine, ainsi que des différentes espèces d'*Unio* des régions tempérées. Ces habitudes sont tellement générales dans les Mollusques fluviatiles ou lacustres, que les Alasmondontes, malgré la grandeur de leurs appendices, n'en offrent pas moins leurs *nates* usés, comme les autres genres fluviatiles. Ces appendices sont si fortement liés l'un à l'autre, que souvent on ne peut séparer les valves, dont ils sont le prolongement, qu'en les brisant, et parfois d'une manière complète.

Quant aux genres qui ont leur test épais, comme les Galathées, l'usure porte principalement sur les crochets saillants des *nates*.

Ces habitudes ne sont pas particulières aux Bivalves des eaux douces; elles sont également communes aux Mollusques lamellibranches qui habitent le sein des mers. On peut citer parmi les genres des eaux salées qui

en présentent des exemples ceux qui vivent auprès de l'embouchure des fleuves ; tels sont les *Mytilus*, les *Modiola*, les *Ostrea*, les *Etheria* et les *Arca*. Quoique les *Dreissena* ne vivent pas à l'embouchure des fleuves, même celles qui n'ont jamais quitté le bassin des mers, elles n'usent pas moins leurs *nates* comme les autres genres que nous avons cités.

Il est également d'autres Mollusques lamellibranches qui ne se bornent pas à entamer leurs *nates*, mais qui ont aussi l'habitude de détruire, du moins en partie, le drap marin qui les recouvre ; tels sont les *Solen Caribæus*, *Candidus*, *Vagina* et quelques autres espèces. Nous signalerons d'une manière particulière une coquille du même genre, mais d'une plus grande dimension que les premières, et qui habite les côtes du Sénégal ; du moins, tous les individus que nous en avons observés offraient ce double caractère.

L'*Isocardia cor* paraît avoir des mœurs analogues ; du moins, le sommet de ses *nates* est souvent dépourvu d'épiderme. On ne voit guère parmi les espèces des genres *Venus* et *Cytherea* que la *Cytherea corbicula* de la Guadeloupe qui offre les mêmes particularités. Il en est de même des *Capsa lævigata*, des *Mactra gigantea*, *helvacea*, et d'une espèce du même genre que nous avons reçue de Montevidéo (Amérique du Sud).

La *Lutraria compressa*, qui vit dans la Méditerranée et les étangs salés qui en sont rapprochés, peut être mentionnée sous les mêmes rapports. Telle est encore la *Cypricardia islandicoidea* qui habite auprès de l'embouchure des fleuves, et dont les habitudes sont les mêmes que celles des Lamellibranches fluviatiles.

On est peu surpris de voir cette Cyprine se dépouiller de son drap marin, lorsqu'on porte son attention sur les diverses espèces d'Éthéries qui en sont souvent privées, surtout auprès de leurs *nates*.

Il est plus difficile de comprendre les avantages que les Mollusques lamellibranches peuvent retirer des altérations qu'ils font éprouver à leurs coquilles, que ceux que peuvent en obtenir les Gastéropodes fluviatiles ou marins ; en effet, chez les Gastéropodes, ces altérations sont la suite de leur accroissement qui leur fait abandonner les premiers tours de leurs coquilles. Il faut bien qu'ils les quittent, puisque ces tours ne peuvent plus les contenir.

(1) Lorsque ces *nates* sont très saillants et formés par des crochets plus ou moins recourbés, comme chez les Galathées, ces parties sont le plus profondément attaquées, par suite probablement du frottement et de l'usure qu'elles ont éprouvées.

Ces parties, ainsi abandonnées et privées de vie, sont facilement attaquées par les agents extérieurs, ou le frottement, que les animaux qui les habitaient dans leur jeune âge leur font éprouver, contre des corps plus durs ; aussi les voit-on s'exfolier avec une assez grande promptitude, et se séparer des coquilles qu'elles composaient primitivement.

Les Mollusques lamellibranches ne délaissent jamais leurs coquilles dans l'intérieur desquelles ils habitent, même lorsqu'ils les ont complétement altérées ; ce n'est donc pas pour les mêmes motifs, ni pour le même but, qu'ils leur font éprouver les diverses altérations dont nous avons parlé. Le font-ils pour rendre leurs demeures plus légères ? On pourrait le présumer, d'après cette circonstance, que les espèces, chez lesquelles ces habitudes sont les plus communes, vivent constamment dans les eaux douces, tandis qu'elles sont rares chez les espèces qui habitent les eaux salées. La densité plus grande de ces dernières eaux a peut-être quelque influence sur ce phénomène.

Il est du reste positif que l'âge en exerce une sensible : du moins on ne voit guère de pareilles altérations chez les Mollusques lamellibranches ou les Gastéropodes qui sont encore dans le jeune âge ; elles ne se présentent jamais que chez les Mollusques de ces différents ordres parvenus à l'âge adulte.

Les Gastéropodes d'eau douce, et même quelques genres marins, présentent des faits analogues ; ils sont toutefois plus communs chez les premiers. Ces habitudes sont en effet à peu près générales chez les Paludines, les Pirènes, les Mélanies, les Mélanopsides, les Ampullaries, les Navicelles et les Néritines, tous genres fluviatiles ou lacustres. La plupart des espèces de ces genres perdent les premiers tours de leurs coquilles, coquilles qui sont néanmoins altérées dans différentes parties de ces mêmes tours. Les *Ampullaria rugosa* et *Guayanensis* peuvent être citées comme des exemples remarquables de ces faits, ainsi que plusieurs espèces de *Pirena*, de *Melania* et de *Paludina*.

Nous avons sous les yeux quelques individus de la *Paludina olivacea* de Madagascar, qui nous montrent à quel point s'altèrent les coquilles des Mollusques fluviatiles. Ces individus ont perdu la plus grande partie de leurs tours : il n'en reste plus en effet que trois. Les premiers qui, sans doute, avaient été abandonnés ont été détruits par l'action des milieux extérieurs ou par un frottement irrégulier. La cause destructrice a agi circulairement à l'axe, mais non parallèlement à cet axe. Les cassures qui en ont été le résultat, aussi bien celles qui existent sur les premiers tours

que sur les côtés de la spire, sont plus profondes et plus ou moins irrégulières; elles ont produit de petites cavités qui, présentant sur leurs bords des portions saillantes, les séparent les unes des autres. Les parties de la coquille, ainsi entamées et comme rongées, sont recouvertes de leur épiderme noirâtre, dont les nuances sombres contrastent fortement avec les teintes blanchâtres des parties usées ou brisées.

Ces particularités sont beaucoup plus rares chez les Gastéropodes marins; on en voit pourtant quelques traces chez les genres qui vivent auprès de l'embouchure des fleuves, tels que les *Cerithium*. Les *Cerithium radula*, *granulatum* et *palustre* nous fournissent des exemples de ces faits ; ils sont moins frappants chez les genres plus décidément marins, et qui s'approchent beaucoup moins des côtes, tels que les *Turbinella*, les *Murex*, les *Triton* et les espèces pélagiques des *Cerithium*.

Cette circonstance prouve que la distinction des Cérites en deux genres principaux, les Potamides et les Cérites proprement dites, n'est pas une distinction purement géologique, puisqu'on pourrait l'établir sur des conditions et des caractères propres aux coquilles elles-mêmes et aux animaux qui les habitent.

On peut également citer parmi les Gastéropodes marins de l'ancien monde qui usent les premiers tours de leur spire, ainsi que les bords saillants de ces mêmes tours, la *Pyrula sulcata* de Grateloup ou *Pyrula Lainei* de Basterot, espèce fossile de Saucatz dans les environs de Bordeaux.

Si les altérations que nous venons d'étudier étaient l'œuvre des espèces parasites vivant sur les coquilles des Mollusques lamellibranches ou Gastéropodes, on devrait les rencontrer sur certaines d'entre elles. Cependant, malgré le grand nombre d'individus altérés que nous avons eu l'occasion d'observer, nous n'en avons jamais aperçu la moindre trace. D'un autre côté, ces coquilles devraient être surtout entamées dans le jeune âge, où leur test peu solide résisterait moins aux attaques dont il pourrait être l'objet. Il en est cependant tout le contraire; les coquilles des genres fluviatiles que nous avons signalés n'ont guère leurs premiers tours usés, et les autres plus ou moins attaqués que dans un âge avancé.

Nous possédons une grande quantité d'individus de Gastéropodes fluviatiles ou lacustres, dont le test est attaqué. Il n'en est pas un seul qui soit dans le jeune âge. Ainsi la *Paludina olivacea*, l'une des plus grandes espèces du genre, est d'une intégrité parfaite dans les jeunes individus. Les coquilles tout à fait adultes sont au contraire profondément altérées

non-seulement perpendiculairement à l'axe, mais encore sur les côtés des tours de la spire (1).

On conçoit facilement le motif qui porte quelques Gastéropodes terrestres à abandonner les premiers tours de leurs coquilles, puisqu'ils ne peuvent plus s'y loger par suite de leur accroissement. Aussi ces tours cassés d'une manière régulière, parallèlement à l'axe de la coquille, sont constamment terminés par une surface plane. Il n'en est pas ainsi chez les genres fluviatiles; ceux-ci usent leurs derniers tours, et ne les abandonnent que lorsqu'ils les ont brisés d'une manière plus ou moins complète.

On peut citer parmi les Mollusques terrestres qui ont de pareilles habitudes le *Bulimus decollatus* et la plupart des espèces du genre *Cylindrella*. Il en est de même encore des *Clausilia retusa* et *torticollis* de Lamarck. Nous avons reçu de la Guadeloupe un *Cyclostoma* sous le nom de *Guadelupensis* de Pfeifer, qui offre les mêmes particularités. Elles ne sont pas bornées comme on pourrait le supposer aux Gastéropodes terrestres; elles sont également propres à plusieurs espèces marines. Le *Cerithium decollatum* nous en fournit un exemple remarquable, que Lamarck a signalé dans son *Histoire des animaux sans vertèbres* (2).

Ces habitudes, quelque singulières qu'elles puissent paraître, n'en ont pas moins été le partage de quelques Céphalopodes des temps géologiques, particulièrement des genres *Turrilites*, *Hamites*, *Ancyloceras*, *Taxaceras* et *Crioceras*. Ce qui est certain, c'est que les premiers tours des coquilles construites par ces Mollusques sont presque constamment brisés et usés, surtout chez les genres à forme pyramidale et turriculée. En examinant les coquilles de ces derniers, on s'aperçoit bientôt que les tours ont été cassés avec une certaine régularité dans le sens de l'axe et parallèlement à cet axe, absolument comme celles des Gastéropodes fluviatiles des temps actuels, particulièrement par les *Pirena* et *Paludina*.

Nous avons détaché plusieurs individus du *Turrilites costatus* de la gangue dans laquelle ils étaient logés, et nous avons reconnu qu'elles avaient été brisées dans le même sens que celles qui se trouvaient isolées. Ces cassures avaient dû, dès lors, être faites par l'animal même des *Turrilites*, avant que leurs coquilles eussent été saisies par la gangue qui les enveloppait.

(1) L'usure de cette coquille, dans le sens de l'axe, est quelquefois si grande, qu'elle a formé au centre du dernier des tours qui existe, une cavité de quelques millimètres de profondeur.

(2) *Hist. des anim. sans vertèb.*, de Lamarck, t. VI.

Il est plus difficile d'être certain que de pareilles habitudes ont été communes aux *Hamites*. Leurs coquilles composées de tours cylindriques, grossissant graduellement, sont parfois brisées à leurs deux extrémités, et leur cassure est parallèle à l'axe. Lorsque l'une de ces cassures est oblique, et l'autre dans le sens de l'axe, on peut très bien supposer que la première a été due à une cause fortuite, et que la seconde a été l'effet de l'accroissement du Mollusque forcé d'abandonner les premiers tours de sa coquille, à peu près comme les Bulines, les Cylindrelles, et quelques autres Gastéropodes.

Il en est à peu près de même des genres *Ancyloceras*, *Crioceras* et *Toxoceras*, qui offrent parfois des exemples de ces doubles cassures. Nous en avons observé de très tranchées chez les *Ancyloceras Puzosianus* et *Crioceras Duvalii*. De pareilles difficultés ne se présentent pas chez les coquilles turriculées fossiles, et encore moins chez les espèces vivantes des genres *Pirena*, *Paludina*, *Melania* et *Melanopsia*, dont les premiers tours manquent assez généralement.

En résumé, un assez grand nombre de coquilles de Mollusques fluviatiles et lacustres ont leurs *nates* plus ou moins usés, ainsi que quelques espèces marines. Ces altérations paraissent dues à un frottement exercé par les animaux eux-mêmes pendant leur vie.

Quant aux Gastéropodes fluviatiles marins ou terrestres, dont les coquilles se montrent généralement altérées, ces altérations tiennent principalement à l'abandon que ces animaux font des premiers tours de leurs coquilles. Ces portions, qui n'appartiennent plus en quelque sorte aux Mollusques qui les avaient construites, ne participent plus à la vie générale des coquilles; elles sont par cela même facilement attaquées par les agents extérieurs, et peut-être aussi par le frottement. Elles se désagrégent alors d'autant plus facilement, que leur abandon est plus complet.

Ce genre de modification se borne chez les Gastéropodes terrestres, et un petit nombre d'espèces marines, à la perte des premiers tours de la spire. Devenues inutiles aux Mollusques adultes, ces portions s'exfolient bientôt, et se détachent des coquilles dont elles faisaient naguère partie. L'âge exerce en effet une grande influence sur ces altérations qui ne sont jamais profondes et considérables, que lorsque les Mollusques ont acquis leur entier développement.

Le phénomène que nous venons d'étudier est non-seulement propre aux Mollusques lamellibranches et gastéropodes de notre monde, mais il a également caracterisé les mêmes animaux des temps géologiques.

FIN DU HUITIÈME VOLUME.

# TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

---

## ANIMAUX VERTÉBRÉS.



## ANIMAUX INVERTÉBRÉS.

# TABLE DES MATIÈRES

PAR NOMS D'AUTEURS.



# TABLE DES PLANCHES

RELATIVES AUX MÉMOIRES CONTENUS DANS CE VOLUME.

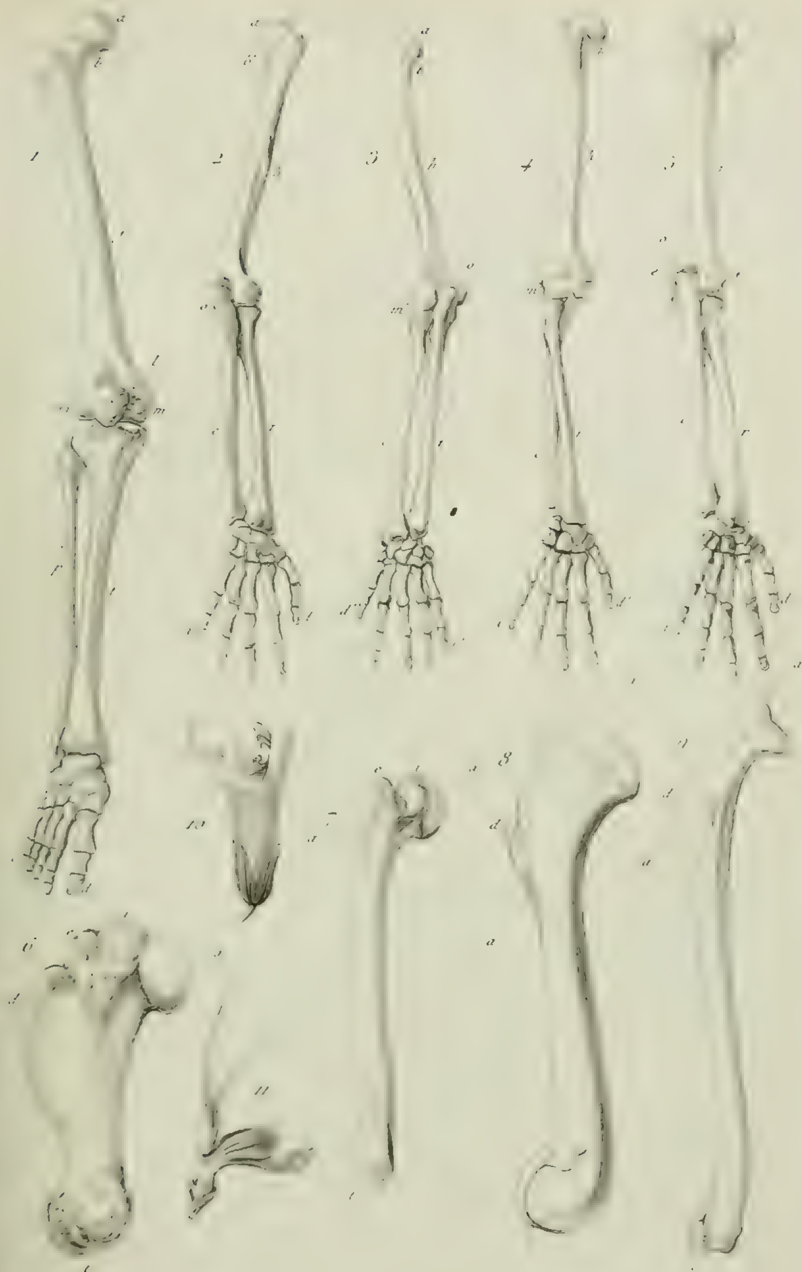


FIN DE LA TABLE.

Anatomie du Nemoptera lusitanica et des Brahyderes lusitanicus.

N. Remond imp. r. Vieille Estrapade 15 Paris

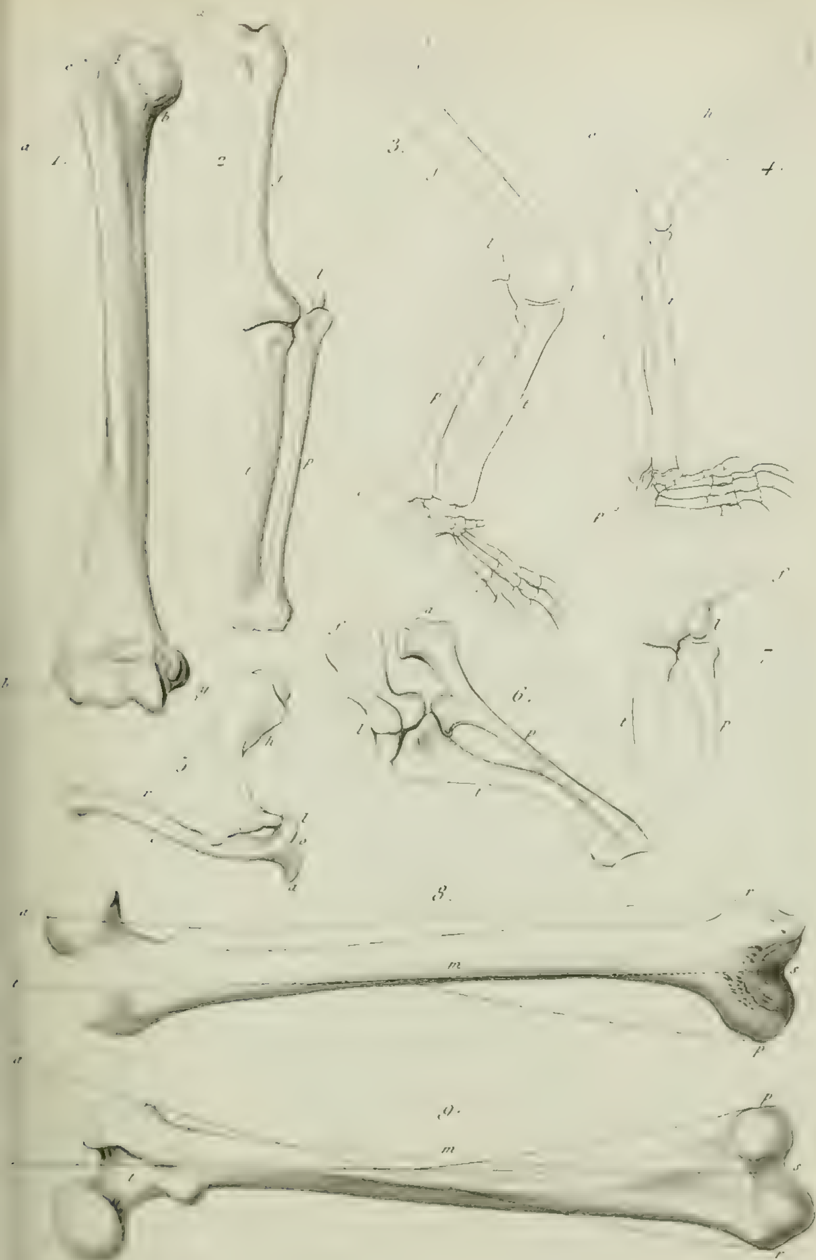




Comparaison des membres.

N. Remond imp. r. Vieille Estrapade 15 Paris





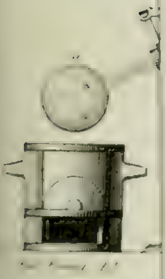
Comparaison des membres.

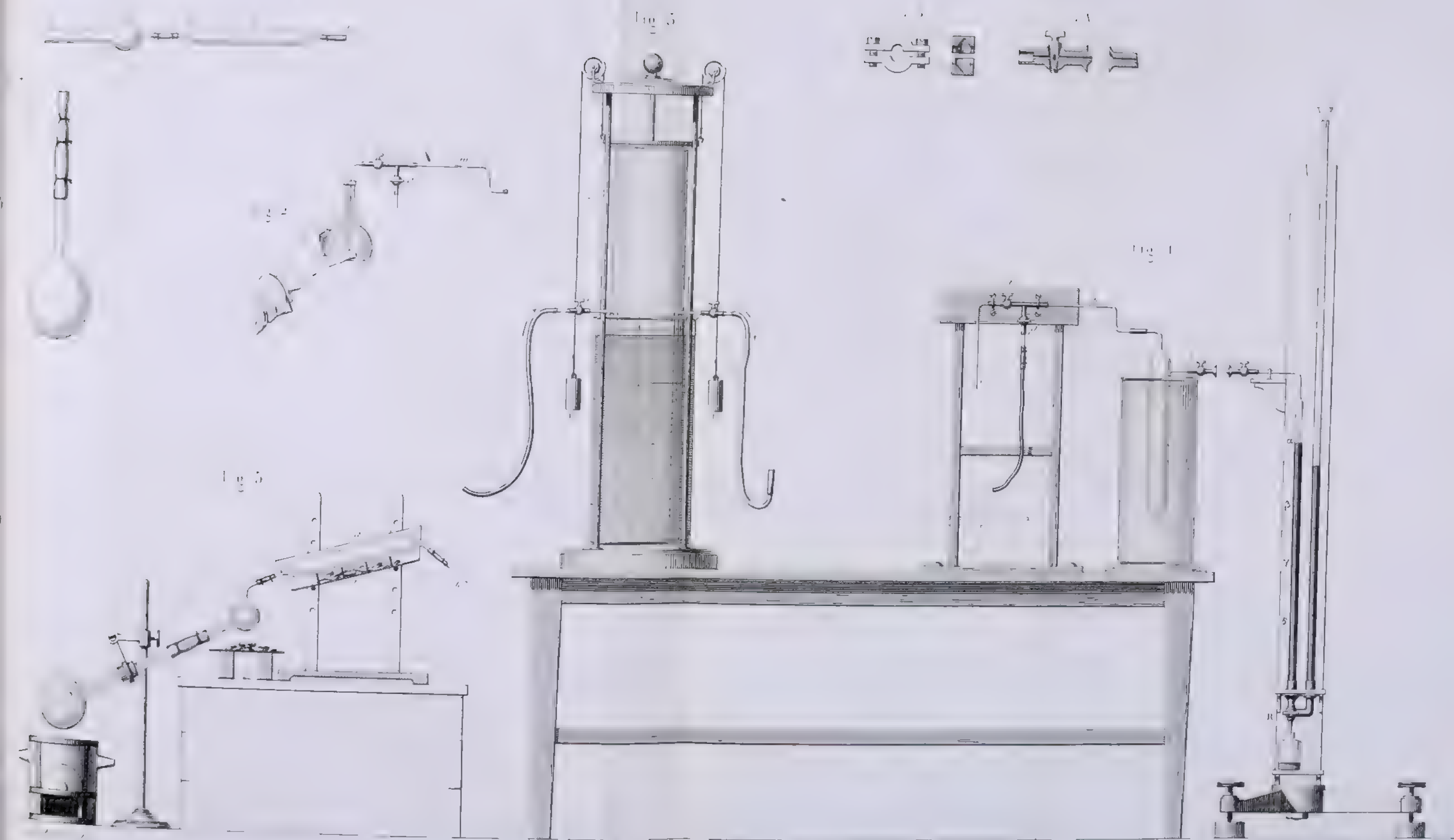
V. Remond imp. r. Vieille Estrapade 15 Paris

*Annales de*

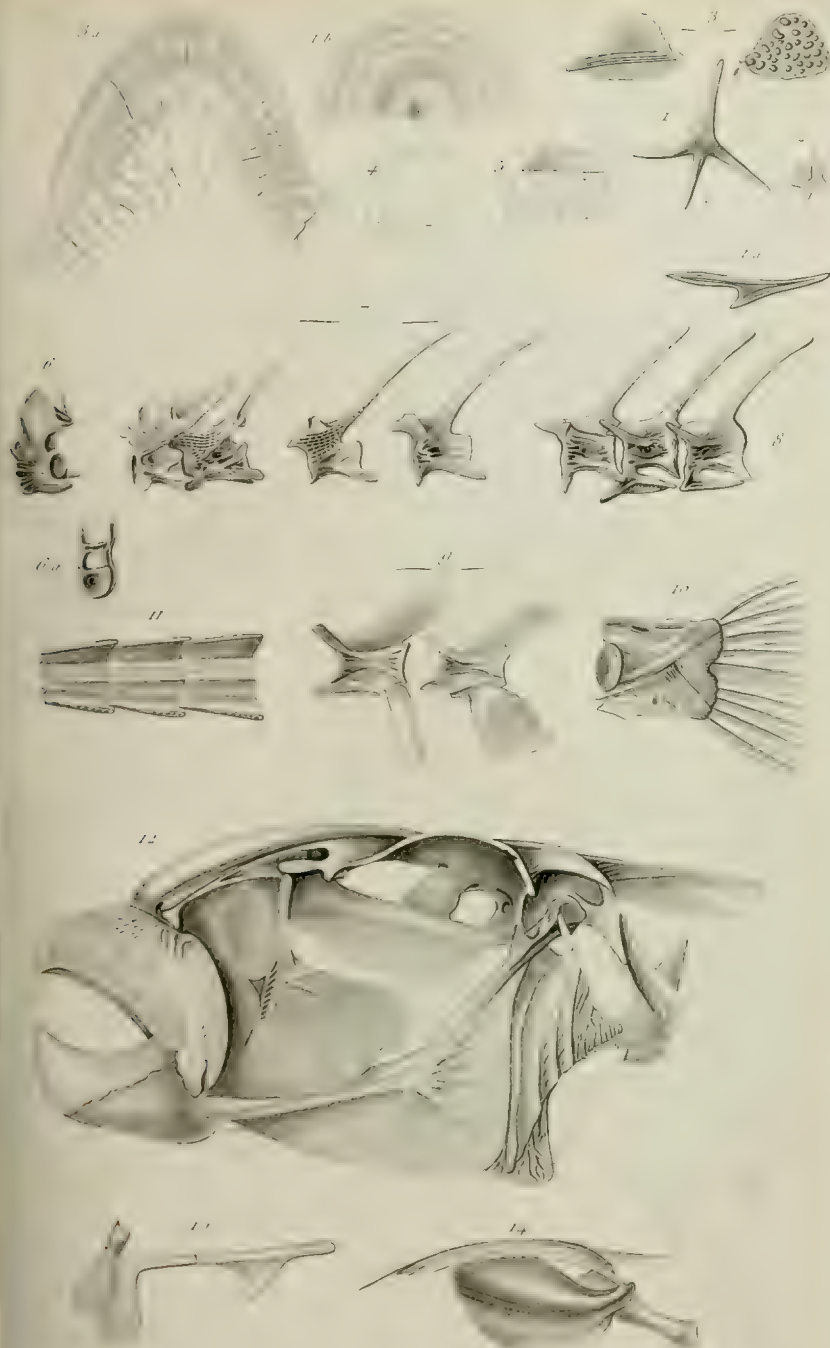








*Appareils pour le dégagement et l'absorption des gaz, par les solutions salines et par le sang*



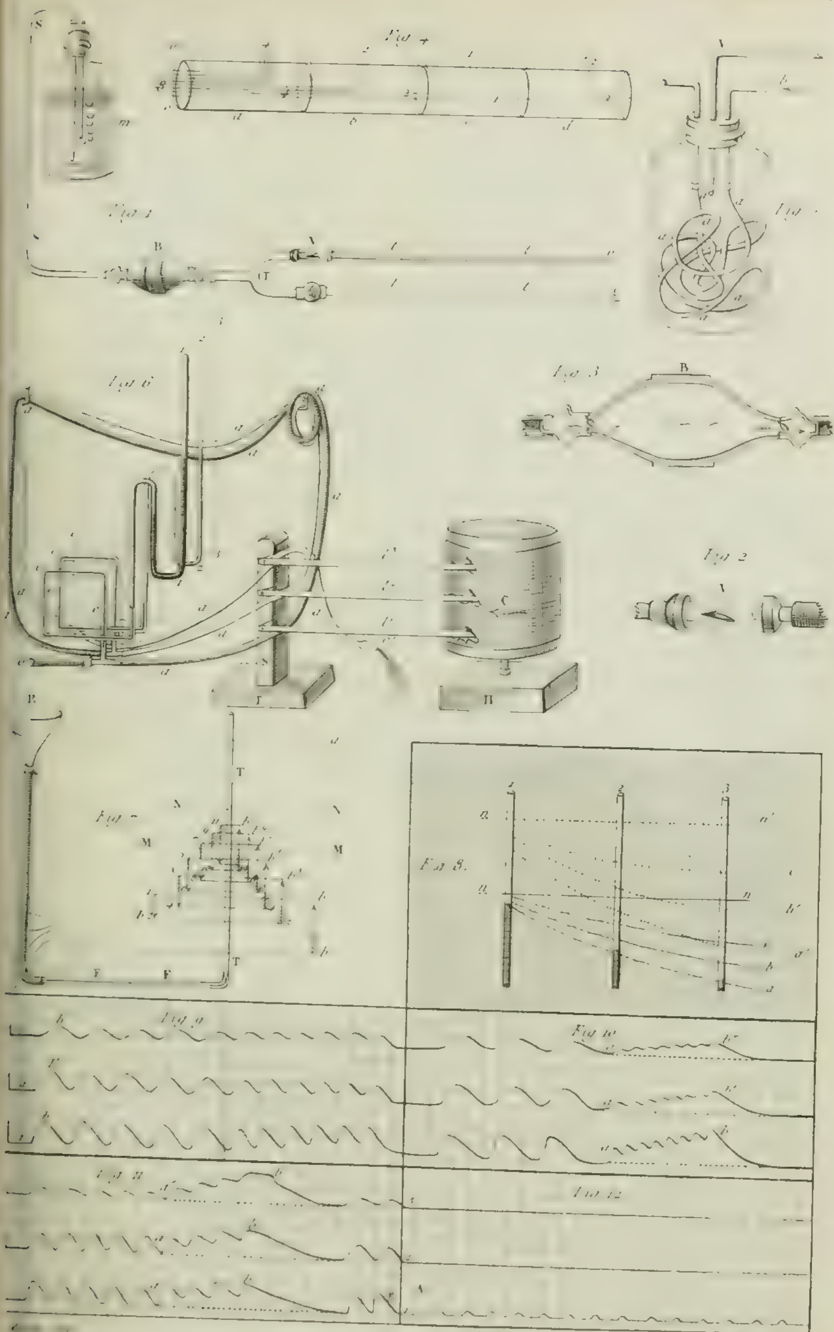
Organisation des Gymnodontes.

A. Remond imp. r. Vieille Estrapade 15 Paris



Organisation des Gymnodontes.

N. Remond imp. r. Vieille Estrapade 15 Paris




Sebin sc.

Expériences sur la Circulation.



Appareil génital des Elatérides.

N. Remond imp. r. Vieille-Estrapade 15 Paris

